Deutscher Bundestag **Drucksache 18/9670**

18. Wahlperiode 16.09.2016

Unterrichtung

durch die Bundesregierung

Aktionsplan Nanotechnologie 2020 der Bundesregierung

Inhaltsverzeichnis

Zugeleitet mit Schreiben des Bundesministeriums für Bildung und Forschung vom 14. September 2016.

Seite

1. Einleitung

Anwendungen auf Basis nanotechnologischer Erkenntnisse haben in den letzten Jahren wirtschaftlich an Bedeutung gewonnen und halten Einzug in den Alltag von Arbeitnehmern, Verbraucherinnen und Verbrauchern. Nanotechnologiebasierte Produktinnovationen spielen in vielen Lebensbereichen wie der Gesundheit und Ernährung, der Arbeit, dem Wohnen, der Mobilität und der Energieerzeugung eine zunehmend wichtige Rolle.

Mit dem Aktionsplan Nanotechnologie 2020 legt die Bundesregierung ihre ressortübergreifende Strategie zur Förderung der Nanotechnologie für den Zeitraum 2016- 2020 vor. Sie verfolgt damit das Ziel, in Deutschland die Chancen und Potenziale der Nanotechnologie weiterhin zu nutzen, ohne dabei mögliche Risiken für Mensch und Umwelt außer Acht zu lassen.

Um diese Entwicklung verantwortungsvoll begleiten und aktiv mitgestalten zu können, bündelt die Bundesregierung ihre Aktivitäten und Maßnahmen zur Förderung der Nanotechnologie in einem ressortübergreifenden Handlungskonzept, dem sogenannten „Aktionsplan Nanotechnologie 2020". Neben der Nutzung der Chancen nanotechnologischer Entwicklungen bestimmt gleichermaßen die anwendungssichere und umweltverträgliche Gestaltung mit dieser Technologie das politische Handeln. Unter Federführung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) sind auch das Bundesministerium für Arbeit und Soziales (BMAS), das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), das Bundesministerium für Gesundheit (BMG), das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), das Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) und das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) am Aktionsplan Nanotechnologie 2020 beteiligt.

Die ressortübergreifende Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Nanotechnologie trägt dem Anspruch nach verantwortlichem Regierungshandeln Rechnung. Dabei werden Nachhaltigkeit, Sicherheit und der Schutz von Mensch und Umwelt als übergeordnete Ziele einer grundsätzlich auf Mensch und Umwelt bezogenen Innovationspolitik definiert. Auf Basis der Ergebnisse der Nanorisikoforschung ist die Politik aufgefordert, angemessene regulatorische Rahmenbedingungen zu schaffen, um einen sicheren Umgang mit Nanomaterialien zu gewährleisten, jedoch ohne dabei Innovationen und die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Industrie über das notwendige Maß hinaus einzuschränken. Auch der Koalitionsvertrag der Bundesregierung aus dem Jahr 2013 weist der Nanotechnologie großes Potenzial bei der Initiierung von Innovationsprozessen zu. Gleichzeitig wird die Notwendigkeit staatlicher Begleitforschung zu Auswirkungen künstlich hergestellter Nanomaterialien auf Mensch und Umwelt als unverzichtbar erachtet.

Globale Herausforderungen wie der Klimawandel, die demografische Entwicklung, die Bekämpfung von Volkskrankheiten, die Sicherstellung der Welternährung und die Endlichkeit der fossilen Rohstoff- und Energiequellen erfordern zukunftsfähige Lösungen, die mit Hilfe von Forschung, neuen Technologien und der Verbreitung von Innovationen befördert werden können.

Aus diesem Grund richtet die Bundesregierung ihre Innovationspolitik im Rahmen ihrer neuen Hightech-Strategie (HTS) konsequent an zentralen gesellschaftlichen Herausforderungen aus. Der Nanotechnologie wird in diesem Zusammenhang großes Potenzial zur Lösung von Problemen in ausgewiesenen Zukunftsfeldern zugeschrieben. Wie im Falle anderer Hochtechnologien gilt es aber auch in der Nanotechnologie, frühzeitig eine verantwortungsvolle Innovationspolitik und eine abgestimmte Zusammenarbeit aller Akteure aus Forschung, Bildung, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft zu forcieren. Im Rahmen der neuen Hightech-Strategie sollen die bestehenden Potenziale auch im Bereich der Nanotechnologie für Deutschland besser genutzt und darauf aufbauende Wertschöpfungsketten innovationsorientiert ausgerichtet werden.

Bereits seit 2006 koordinieren sieben Bundesministerien im Rahmen der „Nano-Initiative – Aktionsplan 2010" ihre Arbeit auf dem Gebiet der Nanotechnologie mit dem Ziel, den nationalen Ausbau dieser Zukunftstechnologie gemeinsam zu befördern. Dabei wurden verschiedene Aktivitäten zur Förderung kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU), zur Verbundforschung, zur Nanorisikoforschung und zur Förderung eines transparenten Dialogs mit der Öffentlichkeit hinsichtlich der Chancen und Auswirkungen der Nanotechnologie zusammengeführt.

Dieser ressortübergreifende Ansatz wurde Anfang 2011 durch den „Aktionsplan Nanotechnologie 2015" für weitere fünf Jahre fortgeführt. Dabei fanden verstärkt Aspekte der wirtschaftlichen Verwertung, der verantwortungsvolle Umgang mit Material und Technik, die Verbesserung der Rahmenbedingungen für Unternehmen und die öffentliche Diskussion zum Thema Nanotechnologie Berücksichtigung.

Die im August 2014 von der Bundesregierung neu aufgelegte Hightech-Strategie „Innovationen für Deutschland“, konzentriert sich auf die sechs prioritären Zukunftsaufgaben digitale Wirtschaft und Gesellschaft, nachhaltiges Wirtschaften und Energie, innovative Arbeitswelt, gesundes Leben, intelligente Mobilität und zivile Sicherheit. Die Breite und Komplexität der definierten Zukunftsaufgaben macht eine strategische Innovationspolitik erforderlich, die sowohl technologische als auch soziale Innovationen berücksichtigt.[1] Dieser Neuausrichtung der Hightech-Strategie wird im „Aktionsplan Nanotechnologie 2020“ Rechnung getragen. Das nahtlos an den Aktionsplan 2015 anknüpfende Handlungskonzept zeigt auf, in welcher Weise nanotechnologische Verfahren und Materialien für die Bewältigung der sechs Zukunftsaufgaben nützlich sind.

Die hier vorgelegte Broschüre ist ein weiterer Beitrag der Politik für den transparenten Dialog mit der Öffentlichkeit über das Thema Nanotechnologie. Neben einer Beschreibung des Status Quo der nationalen Nanotechnologie wird nach 10 Jahren ressortübergreifender Zusammenarbeit erstmalig ein Fazit gezogen, welche Fortschritte aus Sicht der beteiligten Ressorts erreicht wurden, wo sich potenzielle Lücken identifizieren lassen und folglich Handlungsbedarf hinsichtlich zukünftiger Aktivitäten ableitet.

Definition

Die Nanotechnologie nutzt eine Fülle unterschiedlicher Materialeigenschaften und Verfahren, die eine eindeutige Definition schwierig machen. Daher wird in der Regel ein pragmatischer Beschreibungsansatz gewählt, der auch diesem Aktionsplan zugrunde liegt:

„Die Nanotechnologie befasst sich mit der kontrollierten Herstellung und Nutzung von Materialien und Komponenten mit funktionsrelevanten Strukturgrößen unterhalb von 100 Nanometern in mindestens einer Richtungsdimension. Dabei resultieren aus der Nanoskaligkeit neue Funktionalitäten und Eigenschaften, die zur Verbesserung bestehender oder zur Entwicklung neuer Produkte und Anwendungen beitragen können.“ Diese neuen Funktionalitäten und Eigenschaften sind zum einen bedingt durch eine, bezogen auf ihr Volumen, enorm große Oberfläche, durch die nanoskalige Objekte mit ihrer Umgebung wechselwirken können. Zum anderen vermögen Quanteneffekte die Eigenschaften eines Werkstoffs grundlegend zu verändern, da die nanoskalige Strukturierung eines Materials die Bewegungsfreiheit seiner Elektronen zu gestalten erlaubt. So werden zielgerichtete Materialentwicklungen möglich, beispielsweise partikelgrößenabhängige Farbänderungen, eine extreme Zunahme der Wärme- und Stromleitfähigkeit oder eine Steigerung der Reaktivität von Partikeloberflächen. Biologische Einheiten im Nanogrößenbereich wie bspw. Viren oder Antikörper sind von diesem Beschreibungsansatz nicht erfasst.

Um Nanomaterialien im rechtlichen Sinne zu identifizieren, hat die EU-Kommission (KOM) eine weit gefasste Definitionsempfehlung gegeben. Danach besteht ein Nanomaterial zu mindestens 50 Anzahlprozent aus Partikeln im Größenbereich zwischen 1 nm und 100 nm. Dies schließt größere Einheiten bestehend aus Primärpartikeln in Nanogröße ein. Diese Empfehlung lässt ausdrücklich Abweichungen in spezifischen Regulierungsbereichen zu. Im Lebensmittelbereich und für kosmetische Mittel werden eigene Definitionen verwendet.

2. Strategische Ziele der Bundesregierung

Eine verantwortungsvolle Innovationspolitik adressiert sowohl Chancenwahrung als auch Risikoforschung. Wichtig für das Gelingen einer solchen auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Strategie ist eine enge Zusammenarbeit von Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft. Nur durch die transparente Darstellung von Ergebnissen der Chancen- als auch Risikoforschung sowie durch einen intensiven Dialog mit der Öffentlichkeit wird gesellschaftliche Akzeptanz von Technologie möglich.

Eine koordinierte Innovationspolitik dient der nachhaltigen Sicherung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands. Aus diesem Grund wurde die Hightech-Strategie der Bundesregierung zu einer umfassenden ressortübergreifenden Innovationsstrategie weiterentwickelt. Innovationen sollen dabei zur Lösung globaler Herausforderungen beitragen und die Lebensqualität von Bürgerinnen und Bürgern verbessern. Dazu bedarf es neuer Konzepte für die Entwicklung besserer Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, wofür durch Erforschung von Schlüsseltechnologien wie beispielsweise der Nanotechnologie die Grundlagen geschaffen werden können. Heutzutage finden sich bereits zahlreiche Anwendungen auf Basis der Nanotechnologie in Alltags- und Verbraucherprodukten, weitere Innovationen sind auf dem Weg, um neue Märkte zu erschließen. Für ein exportorientiertes und rohstoffarmes Land wie Deutschland, dessen Wettbewerbsfähigkeit eng an Zukunftsmärkte gekoppelt ist, ist ein Wissensvorsprung in den Hochtechnologiebereichen besonders wichtig. Um hier auch international langfristig konkurrenzfähig zu bleiben, wird die Förderung von Schlüsseltechnologien – wie der Nanotechnologie – als integrativer Teil der neuen Hightech-Strategie weiterentwickelt. Dabei

sollen durch interdisziplinäre Forschung Synergien freigesetzt, die Innovationsdynamik der Wirtschaft gestärkt und die Rahmenbedingungen für erfolgversprechende Innovationen verbessert werden. Dafür ist es auch notwendig, den Dialog mit der Gesellschaft zu fördern und Bildungsprogramme zu initiieren. Der bisher erfolgreich durchgeführte ressortübergreifende Ansatz einer koordinierten Forschungs- und Innovationspolitik auf dem Gebiet der Nanotechnologie wird von der Bundesregierung konsequent fortgesetzt. Auf diese Weise können der erreichte hohe Stand der Forschung und die positiven Wirtschaftseffekte weiter ausgebaut und die Nachhaltigkeit von Innovationen durch eine begleitende Risikoforschung und -kommunikation unterstützt werden.

Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt,

- die Nanotechnologieförderung an prioritären Zukunftsaufgaben der neuen Hightech-Strategie auszurichten.

  Die Anwendung nanotechnologischer Erkenntnisse zur Erzeugung von Produkten mit neuen Funktionalitäten hat bereits in zahlreichen Branchen Einzug gehalten. Der zukünftige wirtschaftliche Erfolg von Hightech-Produkten wird davon abhängen, ob neue Chancen, welche von Schlüsseltechnologien wie der Nanotechnologie eröffnet werden, weiterhin konsequent genutzt werden. Dazu gehört auch die Abwägung etwaiger Risiken durch Nanotechnologie und die Gewährleistung einer sicheren Verwendung von Nanomaterialien in Produktionsprozessen und Produkten. Die auf eine verantwortungsvolle Nutzung ausgerichteten Forschungs- und Förderaktivitäten sind auf die in der neuen Hightech-Strategie benannten Zukunftsaufgaben konzentriert: digitale Wirtschaft und Gesellschaft, nachhaltiges Wirtschaften und Energie, innovative Arbeitswelt, gesundes Leben, intelligente Mobilität, zivile Sicherheit. Die Bundesregierung will durch diese Fokussierung der Forschungsförderung die Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft intensivieren, den Aufbau themenbezogener strategischer Partnerschaften beschleunigen und durch zielgerichteten Ergebnistransfer zu Wohlstand und Lebensqualität unserer Gesellschaft beitragen.

- die Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen durch eine effizientere Ergebnisumsetzung zu verbessern.

  Deutschland muss seine Wettbewerbsfähigkeit ständig durch neue Innovationen absichern. Der Anteil forschungsintensiver Produkte an der Wertschöpfung nimmt folglich kontinuierlich zu. Wachstum und Beschäftigung sind nur durch einen erfolgreichen Transfer erarbeiteter Ergebnisse in Anwendungen zu erzielen. Produktion ist zunehmend in globalen Wertschöpfungsketten organisiert, anzuwendendes Wissen ist disziplinübergreifend geprägt und Innovationen sind eng mit der Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen verknüpft. Besonders in Themenbereichen wie der Nanotechnologie ist eine koordinierte Zusammenarbeit der involvierten Bundesressorts notwendig. Wissenschaft, Wirtschaft und Politik werden in bewährter Weise eng zusammenarbeiten, um durch frühzeitige Vernetzung von Akteuren die effiziente Umsetzung von Forschungsergebnissen in Anwendungen und Dienstleistungen zu beschleunigen. Dazu sollen besonders kleine und mittelständische innovative Unternehmen durch gezielte Maßnahmen unterstützt werden, um vorwettbewerbliche Technologieentwicklungen schneller in vermarktbare kommerzielle Produkte zu transferieren. Um das weltweit verfügbare Wissen nutzen zu können, werden zudem geeignete internationale Kooperationen ausgebaut.

- durch begleitende Risikoforschung und –kommunikation die verantwortungsvolle Gestaltung der Nanotechnologie als Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung zu gewährleisten.

  In der Öffentlichkeit gibt es neben der Wahrnehmung der Chancen auch eine Diskussion zu möglichen Risiken der Nanotechnologie. Nanoskalige Effekte generieren zwar neue Funktionalitäten, sie werfen aber gleichzeitig Fragen zu den Auswirkungen auf Mensch und Umwelt bei der Entwicklung, Herstellung, Nutzung und Entsorgung nanotechnologischer Produkte auf. Folglich stehen die sachgerechte Ausfüllung des Vorsorgeprinzips bei noch fehlenden Risikodaten sowie die wissenschaftlich fundierte Weiterentwicklung von Rechtsvorschriften und Praxisempfehlungen ebenfalls im Fokus derzeitiger Ressortaktivitäten. Durch Forschungsvorhaben zur Ermittlung öko- und humantoxikologischer Gefahren, Lebenszyklusanalysen und Ableitung sicherer Expositionsszenarien trägt die Bundesregierung dazu bei, die potenziellen Risiken besser einzuschätzen und ein differenziertes Risikomanagement zu betreiben. Dadurch soll die umwelt- und gesundheitsverträgliche Entwicklung der Nanotechnologie gewährleistet werden.

  Die Ressortforschungseinrichtungen Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Umweltbundesamt (UBA), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) und die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) verfolgen hierzu eine gemeinsame Forschungsstrategie. Sie zielt vor allem auf eine anwendungssichere und umweltverträgliche Gestaltung neuer Materialien in einer frühen Innovationsphase ab. Darüber hinaus werden Handlungsoptionen

und Praxishilfen zu Arbeits-, Verbraucher- und Umweltschutzmaßnahmen für den gesamten Lebenszyklus von der Herstellung bis zur Entsorgung abgeleitet. Durch den Anstieg des Einsatzes von Nanomaterialien steigen gleichfalls die damit verbundenen abfallwirtschaftlichen Herausforderungen. Die während der Herstellung, im Rahmen von Produktionsprozessen und nach dem Ende der Nutzungsphase anfallenden nanomaterialhaltigen Abfälle bedürfen einer besonderen Berücksichtigung beim Recycling oder der umweltgerechten Entsorgung. Auch zur Frage, ob und in wieweit die Entsorgung nanomaterialhaltiger Abfälle zu einer Gefährdung oder Belastung für Mensch und Umwelt führen kann, bestehen noch Wissenslücken. Diese sind teilweise bereits Gegenstand von Forschungsvorhaben sowie verschiedener Untersuchungen, insbesondere im Rahmen einer Arbeitsgruppe des Umweltdirektorats der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD). Über Bürger- und Stakeholder-Dialoge, Internetplattformen und Verbraucherkonferenzen werden die Untersuchungsergebnisse zu möglichen Umwelt- und Gesundheitsrisiken transparent aufbereitet und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt und diskutiert.

– innovationsfreundliche Rahmenbedingungen für nachhaltiges Wirtschaften zu gestalten.

Ein erfolgreicher und nachhaltiger Ergebnistransfer in innovative Produkte und Anwendungen erfordert eine verantwortliche Forschungs- und Förderpolitik und die Gestaltung innovationsfreundlicher Rahmenbedingungen. Durch faire Wettbewerbsbedingungen und transparente Marktlagen, Risikokommunikation, Finanzierungsmöglichkeiten für KMU und Start-ups, Gewährleistung einer qualifizierten Fachausbildung, Maßnahmen zum Schutz von Urheberrechten und die Erarbeitung international anerkannter Normen und Standards unterstützt die Bundesregierung sowohl die Generierung sicherer Produkte als auch eine Kultur der Technikaufgeschlossenheit in Wirtschaft und Gesellschaft.

Gut qualifizierte Fachkräfte, ausreichend vorhandener wissenschaftlicher Nachwuchs und bedarfsgerechte Aus- und Weiterbildungsangebote für Arbeitnehmer in der Nanotechnologie sind notwendig für die Beschäftigungssicherung und Unternehmensentwicklung. Dazu gehören auch der Aufbau von Netzwerken, Übersichten zu Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten, die Durchführung von Branchendialogen sowie die Bereitstellung von Fördermitteln und Kapital zur Gründungsfinanzierung. Durch Normen und Standards können Märkte für innovative Technologien geöffnet und Markttransparenz geschaffen werden. Sie tragen dadurch unmittelbar zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft von Unternehmen bei. In der Nanotechnologie erfordern die zunehmenden Forschungsaktivitäten, Produktentwicklungen und auch Regulierungsmaßnahmen nicht nur möglichst weitgehend vereinheitlichte Definitionen und Terminologien, sondern auch international abgestimmte und auf das Internationale Einheitensystem (SI) metrologisch rückgeführte Prüf- und Messmethoden, sowie Verarbeitungsverfahren.

Im Bereich der Standardisierung befasst sich auf internationaler Ebene die International Organization for Standardization (ISO) und die OECD sowie auf europäischer Ebene das European Committee for Standardization (CEN) mit der Erarbeitung von Normen und Standards. Die Bundesregierung unterstützt das aktive Engagement deutscher Expertinnen und Experten in den jeweiligen Ausschüssen. Durch ein System von internationalen Vergleichsmessungen, organisiert und durchgeführt von nationalen Metrologieinstituten (in Deutschland die PTB) sowie den designierten Instituten BAM, UBA und Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), wird die internationale Vergleichbarkeit der Messergebnisse für wesentliche Messgrößen regelmäßig geprüft und sichergestellt.

3. Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland

Deutschland ist im internationalen Vergleich bei der Erforschung, Entwicklung und Vermarktung nanotechnologischer Erkenntnisse, aber auch zu Fragen möglicher Risiken für Mensch und Umwelt, mit führend. Hierzu hat die in 2006 begonnene koordinierte Zusammenarbeit von sieben Bundesressorts bei der Förderung der Nanotechnologie einen erheblichen Beitrag geleistet. Unter dem Dach des Aktionsplans wurden sowohl die Nutzung nanotechnologischer Anwendungen als auch mögliche Auswirkungen von Nanomaterialien auf Mensch und Umwelt untersucht, um die Grundlage für eine verantwortungsvolle Nutzung der Nanotechnologie zu schaffen.

3.1 Bilanzierung der nationalen Förderung

Der Aufbau einer soliden wissenschaftlichen Basis in der Nanotechnologie wurde in Deutschland durch zwei parallele Entwicklungen begünstigt. Zum einen hatte das BMBF schon Anfang der 90er Jahre die Forschungsförderung zur Nanotechnologie aufgenommen und seitdem kontinuierlich weiter ausgebaut. Zum anderen nahm auch das Interesse von Seiten der Industrie an neuen technologischen Durchbrüchen stetig zu.

Die ersten öffentlich geförderten Forschungsprojekte wiesen noch überwiegend grundlagenorientierten Charakter auf. Mit der Einbindung von Industriepartnern im Rahmen der Verbundforschung rückte die wirtschaftliche Nutzung zunehmend in den Fokus der Vorhaben. Eine zentrale Herausforderung der Nanotechnologie stellt die interdisziplinäre Verknüpfung von natur- und ingenieurwissenschaftlichen Fachdisziplinen dar. Folglich ist für die Umsetzung nanotechnologischer Innovationen eine effiziente Vernetzung der beteiligten Akteure erforderlich. Das BMBF hat daher bereits Ende der 90er Jahre mit dem Aufbau bundesweiter Kompetenzzentren begonnen. Weitere Initiativen und Cluster folgten auf Ebene der Länder und Regionen, in deren Folge auch der Länderkreis Nanotechnologie eingerichtet wurde, um Aktivitäten der Länder mit denen auf Bundes- und kommunaler Ebene besser aufeinander abstimmen zu können.

Um das Förderportfolio kontinuierlich an die Bedarfe unterschiedlicher Zielgruppen in der Nanotechnologie anzupassen, wurden potenzielle Lücken in der BMBF-Forschungsförderung durch neue Instrumente adressiert. Regelmäßig werden thematisch fokussierte Bekanntmachungen veröffentlicht und durch Strukturfördermaßnahmen und innovationsbegleitende Förderaktivitäten flankiert. Ergänzend zur klassischen Verbundprojektförderung wurden beispielsweise Leitinnovationen als Instrumente zur strategischen Forschungskooperation entwickelt, um bestehende Marktpotentiale zu sichern und neue Wachstumsfelder in starken deutschen Branchen wie der Automobilindustrie, der chemischen oder optischen Industrie zu erschließen. Innovationsallianzen bestehend aus Vertretern der Wissenschaft, Wirtschaft und Politik adressierten Bereiche mit globaler Marktperspektive und zielten auf eine maßgebliche volkswirtschaftliche Hebelwirkung. Eine Reihe spezifischer BMBF-Fördermaßnahmen wie beispielsweise KMU-innovativ wurden mit dem Ziel etabliert, KMU mit Spitzenforschung gezielt bei der Durchführung von Forschung- und Entwicklung (FuE) zu fördern. Des Weiteren wurden Maßnahmen zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses aufgelegt. Exzellente Postdoktoranden finden im Rahmen der Nachwuchsförderaktivität NanoMatFutur Unterstützung beim Aufbau eigener Forscherteams. Das BMBF-Förderportfolio wurde zudem durch Spitzen- und Exzellenzcluster ergänzt, die teilweise nanotechnologische Fragestellungen bearbeiten.

Beginnend im Jahr 2002 hat das BMBF eine Nationale Kontaktstelle Nanotechnologie (NKS) eingerichtet, die deutschen Antragstellern aus Forschung und Industrie den Zugang zur europäischen Forschungsförderung erleichtert. Dazu steht allen interessierten Partnern ein vielfältiges Beratungsangebot in Form von Informationstagen, Kooperationsbörsen, Einzelgesprächen und web-basierten Seminaren zur Verfügung.

Die klassische Verbundforschung des BMBF wurde stets durch eine Reihe spezifischer Begleitmaßnahmen unterstützt. Bereits in den 90er Jahren wurden Aktivitäten zur Technologiefrüherkennung, Innovations- und Technikanalysen sowie innovationsbegleitende Maßnahmen durchgeführt. Der bis 2015 auf deutschen Straßen fahrende „nanoTruck“ kann als erfolgreiches Beispiel zur öffentlichen Aufklärung über Nanotechnologie angeführt werden: Zahlreiche Schülerinnen und Schüler sowie interessierte Laien haben in dem mobilen Mitmach-Labor praktische Anwendungen der Nanotechnologie kennengelernt und sich mit Hilfe interaktiver Lehrmaterialien über Chancen und Potenziale dieser Technologie informiert. Allgemein verständliche Broschüren des BMBF, Internet-basierte Informationsportale oder auch Expertengespräche mit Bürgerinnen und Bürgern vermitteln regelmäßig Wissen über aktuelle Trends und Entwicklungen, aber auch zu Chancen und Risiken der Nanotechnologie.[2]

Ab dem Jahr 2006 wurde die Nanorisikoforschung als eigene Förderpriorität etabliert. Dabei arbeiten interdisziplinäre Teams aus Forschungseinrichtungen, Bundesoberbehörden, Hochschulen und Industrie zusammen, um die Auswirkungen von Nanomaterialien auf den Menschen und die Umwelt zu erforschen. Dazu wurden im Rahmen der Fördermaßnahmen NanoCare und NanoNature zahlreiche Projekte zur Untersuchung des Verhaltens von synthetischen Nanomaterialien gestartet. Themenschwerpunkte sind zum Beispiel Langzeiteffekte durch Inhalation, Toxizitätsmechanismen, Materialdesign, mögliche Gruppierungsstrategien und Messmethoden. Auch der Eintrag der Nanomaterialien in die Umwelt und deren Verbleib sind Gegenstand der Projekte. Aktuell werden die Themenfelder Anwendungssicherheit und Umweltverträglichkeit im BMBF-Förderprogramm „Vom Material zur Innovation“ abgedeckt. Zudem fließen die im Rahmen der nationalen Förderaktivität erarbeiteten Erkenntnisse in Expertisen der OECD Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN) zur Risikoforschung von Nanomaterialien ein. Da Anwendungen der Nanotechnologie zunehmend in verschiedene Lebensbereiche des Menschen vorrücken, müssen in allen Stufen der Innovationskette – über den gesamten Lebenszyklus von Nanoprodukten – neben gesundheitlichen und ökologischen auch ethische, rechtliche und sozio-ökonomische Fragestellungen verstärkt berücksichtigt werden. Das Prinzip einer verantwortungsvollen Forschung und Innovation erlangt auch im Kontext der Nanotechnologie immer größere Bedeutung und prägt aktuelle wissenschaftspolitische Debatten. Verlässliche nationale und internationale Daten und Forschungsergebnisse zur Sicherheit von Nanomaterialien werden über das BMBF-Projekt „DaNa - Daten und Wissen zu Nanomaterialien“[3] zur Verfügung gestellt. Neben allgemeinverständli-

chen Informationen zu Materialien und Produkten ermöglicht DaNa auch den Austausch mit hochqualifizierten Wissenschaftlern.

Die Gesamtsumme der Nanotechnologieförderung der öffentlichen Hand beträgt aktuell mehr als 600 Mio. Euro pro Jahr[4]. Darin enthalten sind die Förderaktivitäten der Bundesressorts, der institutionellen Förderung und der Länder. Etwa 10 Prozent der Finanzmittel der Bundesressorts werden in Vorsorge- und Risikoforschung sowie Begleitmaßnahmen investiert. Neben den deutschen Fördermaßnahmen sind die auslaufenden Aktivitäten des 7. Forschungsrahmenprogramms (7. FRP) der EU und aktuelle Fördermaßnahmen im Rahmen von Horizont 2020 eine weitere wichtige Förderquelle für deutsche Antragsteller.

3.2 Akteure der Nanotechnologie in Deutschland

Eine Analyse der nationalen Forschungs- und Industrielandschaft zeigt, dass die Anzahl der mit Nanotechnologie befassten Unternehmen und Forschungseinrichtungen in Deutschland weiter zunimmt. Mittlerweile sind rund 2200 Akteure aus den Bereichen Industrie, Dienstleistung, Forschung und Verbände im Nanotechnologie-Kompetenzatlas des BMBF[5] registriert. Auch die Vernetzung der Nanotechnologieakteure entwickelt sich weiter. Dazu zählen Forschungsnetzwerke der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie der institutionellen Forschungseinrichtungen, Aktivitäten zum Technologietransfer auf regionaler und Landesebene sowie übergreifende Initiativen zur Bündelung der Nanotechnologie-Kompetenzen auf Bundesebene.

In der nationalen Forschungslandschaft gewinnt die Nanotechnologie stetig an Bedeutung. Nahezu alle institutionellen und universitären Forschungseinrichtungen mit technisch-naturwissenschaftlicher Ausrichtung weisen Forschungsaktivitäten mit Nanotechnologiebezug auf. Zahlreiche Studiengänge und Weiterbildungsangebote wurden entwickelt, um geeignetes Personal für Forschung, Entwicklung und Produktherstellung bereit zu stellen. Wesentliche grundlegende wissenschaftliche Erkenntnisse werden insbesondere im Rahmen von Fördermaßnahmen der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und Forschungsaktivitäten der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), der Fraunhofer Gesellschaft (FhG), der Leibniz Gemeinschaft (WGL) sowie von Ressortforschungseinrichtungen, Universitäten und Fachhochschulen erarbeitet.

Derzeit sind auch rund 1100 Unternehmen in Deutschland mit dem Einsatz der Nanotechnologie in Bereichen der Forschung und Entwicklung sowie der Vermarktung kommerzieller Produkte und Dienstleistungen befasst. Der KMU-Anteil liegt bei etwa 75 Prozent. Die Bundesregierung unterstützt FuE-Maßnahmen und Aktivitäten zur Normung, Standardisierung und Gesetzgebung. In Zusammenarbeit mit den mit diesen Aufgaben betrauten EU-weiten und internationalen Organisationen EU-Kommission, Europäische Chemikalien Agentur (ECHA), OECD, CEN, ISO, und Weltgesundheitsorganisation (WHO) werden international anerkannte Produkt- und Sicherheitsstandards erarbeitet, um eine umwelt- und gesundheitsverträgliche Nutzung nanotechnologischer Erkenntnisse zu gewährleisten. Auch die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) erweitert durch die Entwicklung von Verfahren zur Expositionsermittlung, strenge Arbeitsschutzmaßnahmen und eine unabhängige Risikoforschung den Kenntnisstand der Betriebe bezüglich Arbeitsschutz und Arbeitssicherheit für die Themenfelder Nanotechnologie und Nanomaterialien am Arbeitsplatz.[6]

4. Zu den Zukunftsaufgaben der neuen Hightech-Strategie beitragen

Für die in der neuen Hightech-Strategie der Bundesregierung beschriebenen Zukunftsaufgaben liefern Schlüsseltechnologien wie die Nanotechnologie die Grundlagen für neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen. Forschung leistet damit einen Beitrag zur Lösung drängender gesellschaftlicher Probleme und zentraler Herausforderungen und fördert den Wohlstand und die Lebensqualität der Bürgerinnen und Bürger. Dabei gilt es, die Chancen und Auswirkungen nanotechnologischer Innovationen sorgfältig abzuwägen. Beim Transfer der wissenschaftlichen Erkenntnisse in wirtschaftliche Anwendungen kommt es darauf an, Aspekte der wirtschaftlichen Nutzung mit Ansätzen für eine verantwortungsvolle Gestaltung zu kombinieren und notwendige Regulierungsmaßnahmen abzuleiten.

4.1 Digitale Wirtschaft und Gesellschaft

Die moderne Industriegesellschaft wird von digitalen Techniken durchdrungen. Viele Lebensbereiche und Arbeitsprozesse sind heutzutage ohne digitale Unterstützung kaum mehr denkbar. Intelligente Netze und komplexe Softwaresteuerung ermöglichen zahlreiche Anwendungen in den Bereichen Mobilität, Gesundheit, Energie, aber auch in Forschung, Bildung oder öffentlicher Verwaltung. Gleichzeitig werden im Zuge dieser Entwicklungen immer neue Fragen hinsichtlich der Datensicherheit oder möglicher gesellschaftlicher Aus-

wirkungen aufgeworfen. Traditionelle Arbeitsplätze werden beispielsweise durch Einsatz von Robotern verändert oder ersetzt, andererseits können aber auch neue Berufsbilder entstehen. Dank elektronischer Dienste verbessert sich die medizinische Versorgung für Patientinnen und Patienten und das medizinische Pflegepersonal wird entlastet, Energie wird intelligent verteilt und es zeichnet sich ab, dass vollautomatisierte Fahrzeuge zukünftig Güter und Personen transportieren. Grundlegende Änderungen in der Industrie werden durch die digitale Vernetzung von Maschinen erwartet, die zur intelligenten Produktion im Rahmen von Industrie 4.0 führen sollen.

Informations- und Kommunikationstechnologien sind die Basis der Digitalisierung unseres Alltags- und Arbeitslebens. Eine Voraussetzung für die dafür zugrunde liegenden technischen Entwicklungen sind Innovationen in der Mikro- und Nanoelektronik. Prozessoren und Speicher sind die Kernelemente elektronischer Bauteile. Nur durch Einsatz nanotechnologischer Verfahren und neuer Materialentwicklungen hat sich die Transistordichte und die Speicherkapazität auf Computerchips innerhalb weniger Jahre derart erhöht, dass heutige Systeme höchste Rechenleistung bei beherrschbarem Energieverbrauch erreichen, Datenspeicher immense Datenmengen verwalten und für den Datentransfer schnellste Übertragungsraten zur Verfügung stehen. Um die Herausforderungen der digitalen Transformation in Industrie und Gesellschaft auch zukünftig meistern zu können, bedarf es weiterer FuE-Anstrengungen bei der Verbesserung mikro- und nanoelektronischer Bauelemente und der Entwicklung von Materialien für die Halbleiter- und Chiptechnologie. Besondere Anforderungen bestehen zudem hinsichtlich der IT-Sicherheit. Hier gibt es Forschungsansätze, die sich mit der Entwicklung sicherer Verschlüsselungs- und Signaturverfahren durch Quanteninformationstechnologien befassen.

Beim Einsatz neuer Materialien spielt neben der ausreichenden Verfügbarkeit der Rohstoffe auch deren Sicherheit für Mensch und Umwelt eine entscheidende Rolle.

4.2 Nachhaltiges Wirtschaften und Energie

Nanotechnologie kann als Schlüssel- und Querschnittstechnologie wichtige Beiträge zum Umwelt- und Klimaschutz leisten. Sie ermöglicht Innovationen bei der Aufbereitung und Sanierung, in der Sensorik und beim effizienten Einsatz von Ressourcen. Zur Anwendung kommen beispielsweise nanofunktionalisierte keramische und polymere Membranen für die Trink- und Prozesswasseraufbereitung, hochselektive Sensorschichten für den Nachweis von Schadstoffen, oder nanoskalige Werkstoffe zur Reduktion des Bedarfs an seltenen Rohstoffen. Nanostrukturierte Katalysatoren wandeln das klimaschädliche Kohlenstoffdioxid CO_2 in Kraft- oder Kunststoffe um und helfen so Erdöl einzusparen. Beschichtungen mit Nanomaterialien können zu schmutzabweisenden und antimikrobiellen Oberflächeneigenschaften beitragen und dadurch Reinigungs- und Desinfektionsverfahren ergänzen. Allerdings können diese Oberflächen innerhalb ihres Lebenszyklus auch Nanomaterialien freisetzen und somit zu einem Vorkommen von Nanomaterialien in der Umwelt beitragen.

Im Energiebereich eröffnet die Nanotechnologie Verbesserungsmöglichkeiten bei der Erzeugung, Speicherung und dem effizienten Einsatz von Energie. Nanoskalige Materialien, dünne Schichten, Prozesse und geeignete Fertigungsverfahren sind wichtige Komponenten bei der Optimierung von Batterien, Brennstoffzellen, Photovoltaikelementen oder bei der Energieeinsparung durch Leichtbaumaterialien, Wärmedämmung oder verbesserte Gleiteigenschaften. Batterien mit hoher Energiedichte, preiswerte Solarzellen mit hohem Wirkungsgrad oder effiziente Brennstoffzellen sind nur durch den Einsatz von Nanomaterialien wirtschaftlich herzustellen.

Auch im Baubereich finden sich zahlreiche energie- und ressourcenschonende Anwendungen mit Zukunftspotential. Beispielsweise werden multifunktionelle Glasfassaden diskutiert, die sich aufgrund ihrer nanostrukturierten Oberfläche durch schmutzabweisende Eigenschaften und optimale Licht- und Wärmedurchlässigkeit auszeichnen oder durch Belegung mit transparenten photovoltaischen Schichten direkt zur Energieerzeugung nutzen lassen. Baustoffe wie Betone können durch Nanofasern besondere statische und konstruktive Qualitäten erhalten. Zudem lassen sich die Eigenschaften von Farben, Lacken oder Lasuren durch Nanomaterialien vielfältig modifizieren.

In der Agrar- und Ernährungsbranche finden sich ebenfalls nanotechnologische Ansätze für nachhaltiges Wirtschaften. So sollen sich durch Einsatz von nanotechnologischen Verfahren Wirkstoffmengen in Düngemitteln reduzieren oder Pflanzenkrankheiten präziser diagnostizieren lassen. Hygienische Oberflächen können Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen bei der Lebensmittelverarbeitung unterstützen. In Lebensmittelverpackungen können Nanomaterialien die mechanischen und thermischen Eigenschaften verbessern, Lebensmittel gegen UV-Licht schützen, oder signalisieren, ob die Kühlkette unterbrochen oder das Haltbarkeitsdatum überschritten wurde.

Bei vielen der oben genannten Anwendungen ist auch mit der Freisetzung von Nanomaterialien zu rechnen, so dass eine sorgfältige Nutzen-Risiko-Abwägung erfolgen sollte. Begleitend untersucht die Risikoforschung mögliche Auswirkungen des Einsatzes von Nanomaterialien auf Mensch und Umwelt, um eine sichere Gestaltung der Verfahren zu gewährleisten.

4.3 Innovative Arbeitswelt

Nanotechnologie weist einen hohen Grad an Interdisziplinarität auf. In Forschung und Entwicklung setzen Biologen, Chemiker, Physiker, Mediziner und Ingenieure ihre Erfahrungen und Ideen ein, um innovative Anwendungen und Produkte für die Gesellschaft zu generieren. Dies erfordert eine intensive arbeitsteilige Zusammenarbeit und ein hohes Maß des Verständnisses anderer Fachdisziplinen. Die Bundesregierung unterstützt daher die Anstrengungen der Universitäten, interdisziplinär interessierte Talente zu fördern und nanospezifische Bildungsangebote einzurichten. Über die Internetplattform Werkstofftechnologien.de werden sowohl für die Nanotechnologie als auch für die Werkstoffforschung die in Deutschland bestehenden Bildungs- und Qualifizierungsangebote übersichtlich dargestellt. Portraits einzelner Studiengänge erleichtern dem interessierten Nachwuchs die Studienwahl. Speziell KMU ohne größere Forschungsabteilungen sind auf die Absolventen solcher, auf künftige Qualifikationsbedarfe ausgelegte Bildungsangebote angewiesen. Darüber hinaus kommt der Hochschulausbildung eine Schlüsselrolle zu, angehende Naturwissenschaftler und Ingenieure mit Methoden der Risikobewertung, den einschlägigen Regulationen und den Möglichkeiten für eine anwendungssichere und umweltverträgliche Gestaltung von Materialinnovationen vertraut zu machen.

Für den Nanotechnologie-Standort Deutschland ist die Förderung exzellenter Nachwuchswissenschaftler von zentraler Bedeutung, denn kreative Ideen tragen mit zu Unternehmenserfolgen bei. Jedoch erschweren Faktoren wie der demografische Wandel und der zunehmende globale Wettbewerb um die besten Köpfe die Gewinnung hochqualifizierter wissenschaftlicher Nachwuchskräfte. Aus diesem Grund unterstützt das BMBF besonders qualifizierte Nachwuchstalente. Die Bundesregierung fördert zudem im Rahmen der Ressortforschung die Qualifizierung von Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftlern im Bereich der Risikoforschung.

Durch nanotechnologische Produkte und Prozesse verändern sich auch Arbeitsbedingungen in vielen Betrieben. Hier gilt es nicht nur negative Effekte, beispielsweise durch Partikelbelastungen am Arbeitsplatz, zu vermeiden, sondern auch die vielfältigen Chancen innovativer Technologien für menschengerechte Arbeit zu nutzen. Es ist zunächst eine wichtige Herausforderung, die Beschäftigten in die Lage zu versetzen mit den Innovationen Schritt zu halten. Einen interessanten Ansatz bieten die Nanoramen der DGUV.[7] „Nanorama“ – eine Wortkreation aus „Nano“ und „Panorama“ – ist eine neuartige E-Learning Anwendung. Im 360°-Panorama sind Nanomaterialien und -technologien zu sehen, die für eine Branche inzwischen typisch sind. Ziel ist es, Kenntnisse über die Anwendungen und gegebenenfalls erforderliche Arbeitsschutzmaßnahmen zu vermitteln.

4.4 Gesundes Leben

Wer gesund ist, möchte dies bleiben, und wer erkrankt ist, möchte schnell gesund werden oder wenigstens eine Linderung seiner Beschwerden erfahren. Vor diesem Hintergrund und der Zunahme von Volkskrankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen oder Diabetes und einer immer älter werdenden Gesellschaft spielen innovative Präventions- und Therapieansätze in der Medizin eine wachsende Rolle. Nanotechnologische Anwendungen können zu solchen Innovationen einen Beitrag liefern: So wurden im Bereich der Werkstoffwissenschaften in den letzten beiden Jahrzehnten erhebliche Fortschritte bei der Herstellung nanoskaliger Materialien erzielt. Gleichzeitig stellte sich ein enormer Zuwachs an medizinischen Erkenntnissen ein. Beide Trends haben die Einführung von nanotechnologischen Innovationen in der Medizin begünstigt. Inzwischen stellt die Einbeziehung nanotechnologischer Verfahren und von Nanomaterialien einen wichtigen Motor für die Erforschung und Entwicklung neuer Arzneimittel, Diagnostika und Medizinprodukte wie auch bildgebender Verfahren dar. Um bedarfsgerechte und sichere nanotechnologische Innovationen für Patientinnen und Patienten auf den Markt bringen zu können, arbeiten Materialentwickler, Chemiker, Physiker und Biologen mit Pharmazeuten, klinischen Forschern, Ärzten sowie Medizinprodukte- und Arzneimittelherstellern eng zusammen. Sie können dabei frühzeitig von den zuständigen Arzneimittelzulassungsbehörden beraten werden. Dementsprechend erfolgreiche Kooperationen sind unter anderem im Rahmen der Deutschen Zentren der Gesundheitsforschung verwirklicht.

Zur Entwicklung neuer Arzneimittel werden Nanomaterialien auch für die Verkapselung von Wirkstoffen eingesetzt, um diese vor vorzeitigem Abbau zu schützen und eine gezielte Freisetzung nur im erwünschten Gewebe zu erreichen (sogenanntes Drug Delivery). Nanoskalige Polymere können so modifiziert und funktionalisiert werden, dass sie zu einer Verbesserung bzw. Erweiterung des Anwendungs- und Leistungsprofils von Arzneimitteln und Medizinprodukten beitragen. Ein Zukunftsfeld stellt die regenerative Medizin dar: Hier wird beispielsweise an der Optimierung von Implantatbeschichtungen und innovativen Verfahren geforscht, die regenerativ Gewebe und Organe heilen oder mittels derer diese ersetzt werden können. Eines Tages könnten beispielsweise personenspezifische Implantate mit funktionalisierten Oberflächen zur Regeneration von Körpergewebe durch dreidimensionales Drucken (3D-Printing) geeigneter Nanomaterialen hergestellt werden.

Auch in der Diagnostik kommen nanotechnologische Ansätze zunehmend zum Einsatz. So werden zum Beispiel mit modernen bildgebenden Verfahren neue Ansätze zur frühzeitigen Detektion und Lokalisierung von Tumoren erforscht. Dazu werden in den Körper eingeführte Nanomaterialien zur Steigerung der Nachweisgrenze für die beginnende Tumorentwicklung und verbesserte Ortsauflösung bei der Tumorlokalisation genutzt. Auch bei der Analyse von Körperflüssigkeiten wie Blut oder Speichel kommen Nanotechnologie-basierte Anwendungen vermehrt zum Einsatz. Dabei werden messbare Größen wie Gen- oder Stoffwechselprodukte oder das Vorhandensein von Krankheitserregern untersucht. Die Analyse dieser auch Biomarker genannten Größen dient der frühzeitigen und präzisen Diagnose von Krankheiten, der Entwicklung optimierter Therapien unter Vermeidung unerwünschter Nebenwirkungen, der laufenden Kontrolle des Therapieerfolgs und kann darüber hinaus prognostische Aussagen zum Krankheitsverlauf geben. Die Ergebnisse dieser Analysen könnten zukünftig auch verstärkt in die sogenannte individualisierte Medizin einfließen, bei der versucht wird, auf Basis der individuellen Voraussetzungen und Bedürfnisse einer Patientin oder eines Patienten eine maßgeschneiderte Präventions- oder Therapieentscheidung zu treffen.

Im Bereich Ernährung könnten Nanomaterialien zudem zu einer optimierten Ernährung und besseren Qualität von Lebensmitteln beitragen. Durch Nanoverkapselung von Biowirkstoffen strebt man unter anderem eine erhöhte Stabilität der Biowirkstoffe in der Lebensmittelmatrix, die Maskierung unerwünschter Aromen, wie zum Beispiel bei Omega-3-Fettsäuren, deren verzögerte oder kontrollierte Freisetzung und einen verbesserten Transport durch die Darmwand an. Durch Verkapselung oder Größenreduktion in den Nanobereich lassen sich Lebensmittel mit einem geringeren Salz-, Zucker- oder Fettgehalt herstellen, ohne dass das Geschmacksempfinden beeinträchtigt wird.

4.5 Intelligente Mobilität

Innovative Mobilitätskonzepte sind die Basis für Wirtschaft und Produktion, aber auch für Wohlstand und Lebensqualität. Nachhaltige Mobilität erfordert Verkehrs- und Transportkonzepte, die effizient, ressourcenschonend und emissionsarm sind. Gleichzeitig sollen die Beförderungssysteme sicher, schnell und komfortabel sein.

Das wachsende Interesse in Politik und Öffentlichkeit an alternativen Fahrzeugantrieben ist im Wesentlichen durch steigende CO_2-Emissionen, die Erdölabhängigkeit und die Luftverschmutzung bedingt. Zu dieser Sensibilisierung tragen auch technische Erfolge in Batterietechnologien, in der Leistungselektronik, im Leichtbau, in der Brennstoffzellenentwicklung oder in der Wasserstoffspeicherung bei. Fortschritte in diesen Bereichen sind mit durch nanotechnologische Verfahren und den Einsatz von Nanomaterialien befördert worden.

Eine Kernaufgabe bei der Elektromobilität ist die Bereitstellung von sicheren Batterien mit hoher Energiedichte und möglichst geringem Gewicht für eine große Reichweite und ein dynamisches Fahrverhalten. Daher werden als Antriebsbatterien für Elektrofahrzeuge aktuell vor allem Lithium-basierte Hochleistungszellen favorisiert. Bei der Optimierung von Elektroden und Batteriezellkomponenten spielen nanoskalige Materialien und neue Nanokomposite eine wesentliche Rolle. Für die Betriebssicherheit der Batterien sind nanoskalige Molekülstrukturen entscheidend. Um in Beschleunigungsphasen ausreichend und schnell Energie zur Verfügung zu haben, können beispielsweise zusätzlich zu den Batteriespeichern sogenannte Superkondensatoren eingesetzt werden. Deren hohe Leistungsdichten sind nur durch den Einbau von Nanomaterialien und nanostrukturierten Systembauteilen zu erreichen. Derzeitige Nachteile der modernen Batterietechnologien sind die im Vergleich zu konventionellen Energieträgern wie Benzin geringere Energiedichte und daraus resultierende kurze Reichweite sowie die lange Wiederaufladungszeit.

Im Hinblick auf alternative Antriebe arbeitet die Automobilindustrie auch an Brennstoffzellenkonzepten. Brennstoffzellen erzeugen Elektrizität direkt aus energiehaltigen Gasen wie Wasserstoff oder Methan. Diese Umwandlung erfolgt mit hohem Wirkungsgrad. Zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Membranschichten, Elektroden und Katalysatoren werden u. a. nanostrukturierte Oberflächen auf Kohlenstoffbasis

sowie der Einbau von Nanomaterialien untersucht. Für die Wasserstoffspeicherung werden unter anderem nanoporöse Kohlenstoffsysteme und metallische Gerüststrukturen erforscht.

Energieeinsparoptionen ergeben sich durch den Einsatz von Nanomaterialien in Leichtbauwerkstoffen. Energieeffizienz lässt sich durch innovative nanoelektronische Systemkomponenten für den Elektromotor und Antriebsstrang optimieren. Neuartige verschleißfeste Nanobeschichtungen führen zur Reibungsminderung und tragen damit zur Senkung des Energie- oder Kraftstoffverbrauchs bei. Durch neue Korrosionsschutzschichten werden Ressourceneinsparungen aufgrund längerer Lebensdauern von Bauteilen möglich. Ferner werden zur Emissionsminderung katalytisch wirkende Nanomaterialien im Abgasstrang erforscht.

Da Mobilitätstechnologien mit einem hohen Materialeinsatz und einer breit gestreuten Verbreitung verbunden sind, sind die begleitende Risikoforschung und die Entwicklung anwendungssicherer und umweltverträglicher Produkte hier von besonderer Bedeutung. Die Bundesregierung unterstützt hier die intensive Erforschung der wissenschaftlichen Grundlagen für eine differenzierte Risikobewertung und Regulierung.

4.6 Zivile Sicherheit

Zum Bereich zivile Sicherheit zählen Maßnahmen, die zum Schutz von Menschen, Infrastrukturen oder Organisationen gegen kriminelle oder terroristische Aktivitäten, in Katastrophenfällen, aber auch bei Unfällen im privaten oder öffentlichen Umfeld ergriffen werden. Dazu gehören digitale Kommunikations- und intelligente Informationsmanagementsysteme, Navigations-, Beobachtungs- und Ortungstechnologien, Sensoren für die Detektion gefährlicher Substanzen, sowie Schutztechnik und -ausrüstung.

Durch Nanostrukturierung können elektronische Systeme leistungsfähiger werden, wodurch Daten und Informationen schneller erfasst, weitergegeben und ausgewertet werden können. Nanoelektronische Bauelemente erlauben einen energiesparenden mobilen Betrieb von Kommunikationssystemen, ultrapräzise optische Kamerasysteme helfen bei der automatischen Feststellung von Gefahrenpotentialen und quantenkryptografische Verschlüsselung ermöglicht den sicheren Datentransfer. Mobile oder stationäre Detektionssysteme auf Basis funktionalisierter Nanomaterialien werden zum Nachweis gefährlicher oder verbotener Substanzen eingesetzt. Speziell bei der Weiterentwicklung von miniaturisierten, autonom agierenden Sensoren für die Detektion von chemischen oder biologischen Gefahrstoffen werden Beiträge aus der Nanotechnologie einfließen. Langfristiges Ziel ist es, multisensorische miniaturisierte Detektionssysteme zu entwickeln, die ein breites Einsatzspektrum haben und langlebig und robust sind.

Ziel von FuE-Aktivitäten ist auch die Verbesserung der persönlichen Schutzausrüstung von Rettungs- und Einsatzkräften. Dazu zählen unter anderem Filter- und Dekontaminationstechnologien. Beispielsweise werden maßgeschneiderte Filtersysteme für chemische, biologische und nukleare Gefahrstoffe untersucht. Zur Dekontamination gefährlicher Chemikalien oder biologischer Agenzien können selbstreinigende nanostrukturierte Oberflächen mit eingebundenen katalytischen Materialien ergänzend beitragen. Kohlenstoffbasierte polymere Nanokomposite eignen sich für die Herstellung schuss- und stichfester Westen für die Polizei. Materialbezogene Ansätze für Multifunktionswesten werden in der kombinierten Nutzung von Nanofluiden für den Hitzeschutz und automatisierten Sensorsystemen für die Gefahrstoffdetektion oder Personenortung gesehen.

Die Verwendung von Nanomaterialien ermöglicht auch Dokumentensicherheit und Plagiatschutz durch die Kennzeichnung von Dokumenten oder Produkten mit fälschungssicheren Sicherheitsmerkmalen. Dazu können nanostrukturierte Interferenzschichten, Quantenpunkte oder Infrarotpigmente für die optische Codierung aufgebracht werden. Alternativ lassen sich spezifische Proteine oder DNA als Kennzeichnungsmaterialien einsetzen.

5. Forschungs- und Förderprogramme wertschöpfungsorientiert anlegen

Aufgrund des Querschnittscharakters der Nanotechnologie ist deren Forschungsförderung in Deutschland in verschiedenen Fachprogrammen des Bundes verankert und wird teilweise im Rahmen von ressortübergreifenden Förderkonzepten vorangetrieben. Zudem ergänzen sich Förderaktivitäten der Bundesministerien synergistisch mit Aktivitäten der institutionellen Forschungsförderung.

Erkenntnisse der Grundlagenforschung sind in der Regel der Ausgangspunkt für wertschöpfungsorientierte Innovationsprozesse. Frühe Stadien der Innovationskette werden maßgeblich durch Förderaktivitäten der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und von den großen deutschen Forschungsorganisationen abgedeckt. Sind Forschungsthemen mit Anwendungspotential identifiziert und die inhaltliche Ausrichtung der anzugehenden Forschungsarbeiten festgelegt, so ist es Ziel der verschiedenen Förderer, die für die gesamte Kette nötigen Akteure zu identifizieren und frühzeitig in die FuE-Aktivitäten einzubinden. Die durchzufüh-

renden FuE-Arbeiten werden auf zukünftige Verwertungsmöglichkeiten hin ausgerichtet. Weiterhin werden im Rahmen von Begleitmaßnahmen auch solche Aktivitäten wie der Aufbau von Netzwerken, Risikoforschung, Aus- und Weiterbildung, Öffentlichkeitsarbeit, Dialogprozesse mit Bürgern und Interessensvertretern oder auch nötige Regulierungsschritte in die strategische Innovationspolitik mit einbezogen. Zur praktischen Umsetzung der FuE-Erkenntnisse in Anwendungen wird in nationalen und internationalen Gremien zu Normen und Standards mitgearbeitet beziehungsweise die Mitarbeit unterstützt.

5.1 Fachprogramme des Bundes

Nanotechnologiebezüge finden sich in zahlreichen Fachprogrammen verschiedener Bundesressorts, wobei das BMBF eine Vielzahl an thematischen Forschungs- und Innovationsaktivitäten lanciert. Zudem fördern auch das BMWi, BMUB, BMEL, BMG, BMAS und das BMVI Nanotechnologie orientierte Aktivitäten im Kontext von Forschung und Entwicklung.

Bioökonomie (BMBF, BMEL)

Die „Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030“ verfolgt neue Konzepte zur Nutzung natürlicher Ressourcen als Rohstoffe der Zukunft. Ziel ist der Strukturwandel von einer erdöl- zu einer bio-basierten Industrie für die nachhaltige Herstellung und Verarbeitung von Chemikalien, Werkstoffen und Brennmaterialien. Nanokatalysatoren, funktionelle Beschichtungen oder Nanomembranen sind dafür nützliche technologische Elemente.

Elektromobilität (BMWi, BMBF, BMVI, BMUB)

Für eine elektromobile Zukunft arbeiten Forscher, Automobilhersteller und Zulieferer im Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität der Bunderegierung eng zusammen. Das BMBF ist unter anderem über das Materialforschungsprogramm in die Batterieforschung eingebunden, bei der Nanomaterialien von Bedeutung sind. Zudem helfen Erkenntnisse aus der Nanotechnologie Leichtbau-Fahrzeugkonzepte, mobile Speichertechnologien und neue Antriebskonzepte zu entwickeln.

Energieforschung (BMWi, BMBF, BMEL, BMVI)

Am 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung ist das BMBF mit Arbeiten zur Grundlagenforschung für Energieeffizienz und Erneuerbare Energien beteiligt. Nanomaterialien und moderne Verfahren der Nanotechnologie werden bei der Energieerzeugung, -speicherung und -nutzung eingesetzt.

Mensch-Technik-Interaktion (BMBF)

Menschen agieren im Alltag immer öfter mit ihrer technischen Umgebung, sei es bei der Kommunikation, der medizinischen Diagnostik oder bei der Nutzung von Verkehrsmitteln. Dabei nimmt der Einsatz nanoskaliger Funktionsmaterialien in intelligenten innovativen Assistenzsystemen stetig zu. Die Erforschung solcher Mensch-Technik-Interaktionen ist Inhalt des Forschungsprogramms „Technik zum Menschen bringen“.

Gesundheit (BMBF, BMG)

Die Schwerpunkte des Rahmenprogramms der Bundesregierung zur Gesundheitsforschung liegen auf der Erforschung von Volkskrankheiten, der Vorsorge und Prävention, auf individualisierten Therapieansätzen und der Gesundheitswirtschaft. Die Nanotechnologieforschung liefert hierzu technologische Lösungsansätze für beispielsweise langlebige Implantate, eine verbesserte medizinische Bildgebung, sensitivere Diagnostikverfahren, neue Wirkstoffe und Wirkstoffträger.

Informations- und Kommunikationstechnologien (BMBF)

Teile des Programms IKT 2020 haben beim Maschinen- und Anlagenbau zur Herstellung elektronischer Schaltkreise oder bei der Automobilelektronik Bezug zur Nanotechnologie. Auch das neue Rahmenprogramm der Bundesregierung „Mikroelektronik in Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung“ nutzt zur Herstellung hochkomplexer elektronischer Systeme nanotechnologische Erkenntnisse.

Materialforschung (BMBF)

Innovationen aus der Materialforschung sind eng verknüpft mit dem Verständnis des atomaren und molekularen Aufbaus von Materie und wie durch gezielte Konstruktion mit diesen Materiebausteinen funktionelle Werkstoffe und Bauelemente geschaffen werden können. Daher ist das Rahmenprogramm zur Förderung der Materialforschung „Vom Material zur Innovation“ eng verknüpft mit nanotechnologischen Forschungszweigen. Dabei werden erstmals Nanomaterial-spezifische Aspekte integriert im Materialforschungsprogramm berücksichtigt.

Nachhaltige Entwicklungen (BMBF)

Für die Klimaforschung und Ressourcenschonung wurde das Rahmenprogramm „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ gestartet. Ziele sind unter anderem, Rohstoffe intelligenter und effizienter zu nutzen und so zur nachhaltigen und sicheren Rohstoffversorgung Deutschlands beizutragen. Auch die stoffliche Nutzung von CO_2 als Chemierohstoff ist Inhalt der programmspezifischen Fördermaßnahmen.

Photonikforschung (BMBF)

Die Agenda Photonik 2020 fokussiert auf die Ausrichtung der Photonikforschung auf Anwendungsmärkte wie Beleuchtung, Displays, Optiken oder Sensoren, aber auch auf generative Fertigung und Materialbearbeitung. Photonische Prozessketten werden maßgeblich von innovativen Fertigungsverfahren als auch der Verfügbarkeit von Materialien mit einstellbaren optischen Eigenschaften bestimmt.

Produktionsforschung (BMBF)

Das BMBF-Programm „Innovationen für Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ unterstützt die Entwicklung neuer Produktionstechnologien und -systeme für eine kundenindividuelle, ressourcenschonende und zuverlässige Produktion in Deutschland. Im Rahmen von Industrie 4.0 entwickelte Innovationen werden entlang der gesamten Wertschöpfungskette auch für Verfahren und Ausrüstungen eingesetzt, mit denen sich aus nanoskaligen Partikeln, Fasern und Schichten leistungsfähigere Produkte in hoher Qualität herstellen lassen.

Sicherheitsforschung (BMBF, BMEL)

Im Rahmenprogramm „Forschung für die zivile Sicherheit“ werden technologische Lösungsansätze verfolgt, um in allen Lebenslagen Menschen vor Bedrohungen zu schützen. Grundlegende Arbeiten dafür beziehen auch Erkenntnisse aus der Nanotechnologie mit ein. Forschungsaktivitäten zur Sicherheit von Materialinnovationen im Lebensmittelbereich werden auch in der Ressortforschung des BMEL durch das Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel (MRI) und das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) durchgeführt.

Risikoforschung (BMUB, BMBF)

Im Rahmen des Ressortforschungsplans des BMUB werden konkrete Fragestellungen zu Gesundheits- und Umweltrisiken durch Nanomaterialien verfolgt. Die Ergebnisse werden in die Diskussionen und Aktivitäten in den europäischen und internationalen Gremien (EU, ECHA, OECD) eingebracht. Grundlegende Forschungsergebnisse zu potentiellen Risiken des Einsatzes von Nanomaterialien werden auch im Materialforschungsprogramm des BMBF erarbeitet.

Europäisches Metrologie-Programm für Innovation und Forschung EMPIR8 (BMWi, Europäische Kommission)

Die europäischen Metrologie-Institute leisten unter dem Dach des von der Vereinigung der europäischen Metrologie-Institute und der designierten Institute (EURAMET)[9] koordinierten Europäischen Metrologie-Programms für Innovation und Forschung (EMPIR) durch länderübergreifende Zusammenarbeit ihren gemeinsamen Beitrag zur Erfüllung der Anforderungen, die unter anderem aus neuen Technologien an die Metrologie erwachsen. Deutschland beteiligt sich zu spezifischen Herausforderungen im Bereich der Nanometrologie vorwiegend über Arbeiten, die in der PTB oder in der BAM stattfinden.

5.2 Förderstrukturen, Forschungsorganisationen und Ressortforschungseinrichtungen

Förderstrukturen und Forschungsorganisationen

Die Förderaktivitäten der DFG sowie die Forschung der Max-Planck-Gesellschaft (MPG), der Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF), der Leibniz Gemeinschaft (WGL), der Fraunhofer Gesellschaft (FhG) und an Instituten der Unfallversicherungsträger sind für die Erarbeitung grundlegender wissenschaftlicher Erkenntnisse ausschlaggebend.

– *Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)*

  Die DFG fördert aus Mitteln des Bundes und der Länder Aspekte der Nanotechnologie nicht als eigenständiges Fördergebiet. Doch finden sich relevante Projekte bei den Natur-, Lebens- und Ingenieurwissenschaften. Im Rahmen dieser Wissenschaftsbereiche existieren verschiedenste Fachkollegien, die sich mit Nanotechnologie-Fragen beschäftigen. Neben der Einzelförderung werden im Rahmen koordinierter Programme – u. a. in Graduiertenkollegs, Schwerpunktprogrammen, Sonderforschungsbereichen und Forschergruppen – wissenschaftliche Themen mit Bezug zur Nanotechnologie untersucht. Zudem fördert die DFG im Rahmen der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder Graduiertenschulen und Exzellenzcluster.

– *Max-Planck-Gesellschaft (MPG)*

  Von den derzeit 82 Max-Planck-Instituten befassen sich 14 Institute mit den Themenfeldern Festkörperforschung & Materialwissenschaften. Dabei adressieren insbesondere die Institute für Polymerforschung, Kolloid- und Grenzflächenforschung, Festkörperforschung, Intelligente Systeme, Kohlenforschung, Eisenforschung oder Mikrostrukturphysik Nanotechnologie-bezogene Forschung.

– *Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF)*

  Die Helmholtz-Gemeinschaft ist die größte Wissenschaftsorganisation Deutschlands und betreibt 18 Forschungszentren. Nanotechnologie wird von der HGF in erster Linie im Forschungsbereich Schlüsseltechnologien als Unterstützung der Regierungsprogramme der Hightech-Strategie verfolgt. Speziell im HGF-Programm „Science and Technology of Nanosystems“ werden grundlagenorientierte nanorelevante Fragestellungen für zukünftige Anwendungen bearbeitet. Die wichtigsten Zentren mit Nanotechnologiebezug befinden sich in Karlsruhe (KIT), Jülich (FZ Jülich), Geesthacht (HZG), Berlin (MDC) und Dresden (HZDR).

– *Leibniz Gemeinschaft (WGL)*

  In der Leibniz-Gemeinschaft arbeiten derzeit 89 Leibniz-Einrichtungen mit unterschiedlichen fachlichen Schwerpunkten. Materialien mit besonderen physikalischen und chemischen Eigenschaften werden im Forschungsschwerpunkt Materialien und Nanotechnologie erforscht. In diesen Schwerpunkt sind zehn Einrichtungen eingebunden. Im Leibniz-Forschungsverbund Nanosicherheit wird unter Koordination des Instituts für Neue Materialien (INM) zusammen mit 5 weiteren Einrichtungen untersucht, wie sich Nanomaterialien sicher einsetzen lassen. Des Weiteren werden im Leibniz-Netzwerk Nano die Kompetenzen von 14 Instituten gebündelt.

– *Fraunhofer-Gesellschaft (FhG)*

  Die FhG ist die größte anwendungsorientierte Forschungsorganisation in Europa. Sie umfasst 67 Institute und Forschungseinrichtungen, die an zahlreichen Standorten Themen der Nanotechnologie behandeln. Die Fraunhofer-Allianz Nanotechnologie arbeitet mit insgesamt 19 FhG-Instituten branchenübergreifend auf fast allen Themenfeldern der Nanotechnologie und deckt entlang der gesamten Wertschöpfungskette den Ergebnistransfer von der anwendungsorientierten Grundlagenforschung bis zur industriellen Umsetzung ab.

– *Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)*

  Seit 2007 werden die Unfallversicherungsträger von dem gemeinsamen Spitzenverband DGUV[10] vertreten. Auch zum Themenfeld Nanotechnologie berät und fördert die DGUV Forschungsprojekte der Mitglieder wie auch externer Stellen auf den Feldern der Prävention, Berufskrankheiten und Rehabilitation.

Ressortforschung des Bundes

Die Ressortforschung der zuständigen Bundesoberbehörden hat eine Schlüsselfunktion bei der anwendungssicheren und umweltverträglichen Entwicklung, Verwendung und Entsorgung von Materialinnovationen. Unter anderem finanziert die Bundesregierung Untersuchungen zum verantwortungsvollen Einsatz von Nanomaterialien im Agrar- und Ernährungsbereich. Mit einer pro-aktiven Vorlaufforschung trägt die Ressortforschung dazu bei, relevante Risiken für Mensch und Umwelt möglichst frühzeitig zu erkennen und abzuwenden. Dabei gilt es auch, die Ressourcen- und Energieeffizienz der nanotechnologischen Produkte und Anwendungen zu betrachten. Die Ressortforschung stellt gezielt wissenschaftliche Erkenntnisse und auf wissenschaftlicher Basis stehende Analysen zur Verfügung, auch als Grundlage für politische und behördliche Entscheidungsprozesse, für Schutzaufgaben des Staates sowie für die Bereitstellung von technischer Infrastruktur.

Seit 2008 bearbeiten die BAuA, das UBA, das BfR, die BAM und die PTB eine gemeinsame Forschungsstrategie zur Sicherheit von Nanomaterialien für Mensch und Umwelt. Die Aktivitäten werden unter dem Titel „Nanomaterialien und andere innovative Werkstoffe: anwendungssicher und umweltverträglich“ im Rahmen dieses Aktionsplans fortgeführt.

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) forscht und entwickelt im Themenfeld Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit, fördert den Wissenstransfer in die Praxis, berät die Politik und erfüllt hoheitliche Aufgaben. Die Risikoforschung für Nanomaterialien ist seit 2007 im Arbeitsprogramm der BAuA verankert und baut auf langjährige Forschungsaktivitäten zu lungengängigen Partikeln und Fasern auf. Im Rahmen dieses Aktionsplans konzentrieren sich die Forschungsprojekte auf Fragen der Risikobewertung und sicheren Gestaltung faserförmiger Materialien sowie der Integration einer angepassten Informations- und Prüfstrategie für lungengängige Partikel und Fasern in die europäischen Regelungen zur Chemikaliensicherheit.

Das Umweltbundesamt (UBA) ist die zentrale Umweltbehörde in Deutschland. Der Auftrag des UBA ist es, Daten über den Zustand der Umwelt zu erheben, Zusammenhänge zu erforschen, Prognosen für die Zukunft zu erstellen und mit diesem Wissen die Bundesregierung, wie etwa das BMUB, im Hinblick auf politische Entscheidungen zu beraten. Darüber hinaus vollzieht das UBA Umweltgesetze und setzt sie in der Praxis um. Es versteht sich als ein Frühwarnsystem, das mögliche zukünftige Beeinträchtigungen des Menschen und der Umwelt rechtzeitig erkennt, bewertet und praktikable Lösungen vorschlägt. Zudem ist es in der Öffentlichkeitsarbeit aktiv. Im Rahmen dieses Aktionsplans konzentriert sich das UBA auf Fragestellungen zur Risikobewertung der umweltverträglichen Gestaltung von nanomaterialhaltigen Produkten und Anwendungen sowie der Integration einer angepassten Informations- und Prüfstrategie für Nanomaterialien in die europäischen Regelungen zur Chemikaliensicherheit.

Das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) erarbeitet Gutachten und Stellungnahmen zu Fragen der Lebensmittel- und Futtermittelsicherheit sowie zur Sicherheit von Chemikalien und Produkten. Das Institut arbeitet auf der Grundlage international anerkannter wissenschaftlicher Bewertungskriterien und ist in seiner wissenschaftlichen Bewertung und Forschung unabhängig. Eine weitere Aufgabe des BfR ist die Risikokommunikation. Im Hinblick auf Nanomaterialien ist das Institut an zahlreichen nationalen und internationalen Forschungsprojekten beteiligt. Schwerpunkte stellen die Entwicklung sensitiver Nachweismethoden, Untersuchungen zur Bioverfügbarkeit sowie die Erarbeitung von Grundlagen für Gruppierungsansätze dar.

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) leistet wichtige Beiträge zur Nanotechnologie, indem sie im Rahmen ihres Auftrags „Sicherheit in Technik und Chemie“ Prüfverfahren und Referenzmaterialien entwickelt, ihre wissenschaftliche Expertise in die Normung einbringt und so die Qualitätssicherung vorantreibt. Sicherheit und Zuverlässigkeit beim Einsatz von Nanomaterialien stehen für die BAM im Vordergrund. Darüber hinaus ist sie an zahlreichen Forschungsaktivitäten und -projekten zu materialwissenschaftlichen Fragestellungen, der Entwicklung von Mess- und Prüfverfahren, chemischer Nanoanalytik oder nanoskaliger Referenzmaterialien beteiligt.

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) ist als das nationale Metrologie-Institut für die Einheitlichkeit des Messwesens in Deutschland zuständig und sichert durch die Entwicklung von Messmethoden und -geräten sowie die regelmäßige Teilnahme an internationalen Vergleichsmessungen die Rückführbarkeit von Messergebnissen auf das Internationale Einheitensystem (SI). In der Nanotechnologie bearbeitet die PTB daher unter anderem Forschungsprojekte zur quantitativen Charakterisierung von Referenzmaterialien sowie der funktionalen Eigenschaften von Nanomaterialien und nanoskaliger Strukturen und beteiligt sich in entsprechenden Normungsgremien.

Das Max Rubner-Institut (MRI), Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, untersucht nanoskalige Trägersysteme für bioaktive Substanzen und ihr Verhalten während der Lebensmittelverarbeitung, den

Einfluss von Nanomaterialien auf lebensmittelrelevante Mikroorganismen und Vertreter der Darmflora, die Migration von Nanopartikeln aus Lebensmittelkontaktmaterialien, den Einfluss der Partikelgröße auf die Bioverfügbarkeit, die Wechselwirkung von Nanomaterialen mit Bestandteilen der Lebensmittelmatrix, Verfahren zur Erfassung und Charakterisierung von Nanomaterialien in Lebensmitteln sowie den Einsatz der Nanotechnologie zur Verbesserung der Qualität, Sicherheit und Haltbarkeit von Lebensmitteln.

Das Paul-Ehrlich-Institut (PEI), Bundesinstitut für Impfstoffe und biomedizinische Arzneimittel, ist als international tätige Arzneimittelzulassungsbehörde für die Zulassung und Chargenfreigabe von Impfstoffen und biomedizinischen Arzneimitteln zuständig. Als Forschungseinrichtung untersucht das PEI wichtige Fragen zur Wirkungsweise, Sicherheit und Wirksamkeit dieser Produkte. Das schließt zunehmend auch Nanomaterialien ein, die zum Beispiel als Stabilisatoren, Hilfsstoffe oder Wirkstoffträger zum Einsatz kommen und damit einen signifikanten Einfluss auf das Sicherheits- und Wirksamkeitsprofil des Therapeutikums nehmen. Darüber hinaus liegen biomedizinische Arzneimittel zunehmend in Formen mit nanotechnologischen Eigenschaften vor (etwa in Verkapselungen), was neue Fragen zur Bioverfügbarkeit und Wechselwirkung dieser Produkte mit dem Organismus aufwirft. Dementsprechend führt das PEI in diesem Bereich wichtige Biodistributionsstudien zur Abschätzung der Wirksamkeit und Sicherheit dieser Produkte durch.

Das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) ist zuständig für die Zulassung und Verbesserung der Sicherheit von Arzneimitteln, sowie die Risikoerfassung und -bewertung von Medizinprodukten. Oberstes Ziel aller Maßnahmen ist die Erhöhung der Arzneimittel- und damit der Patientensicherheit. Auf diese Weise leistet das BfArM einen wichtigen Beitrag zur Abwehr von Gesundheitsgefahren für die Bürgerinnen und Bürger. Im Bereich der Nanomedizin hat das BfArM institutsinterne, interdisziplinäre Expertise zusammengeführt, um bei der Bearbeitung von Aufgaben, die Arzneimittel- und Medizinprodukte betreffen, einen sachgerechten Umgang zu gewährleisten und um Pharmaunternehmen und Medizinproduktehersteller wissenschaftlich und regulatorisch beraten zu können. Bei der Schaffung von Rahmenbedingungen für die europäische Arzneimittelzulassung ist das BfArM an der Harmonisierung von Anforderungen im Bereich der Nanotechnologie beteiligt.

5.3 Technologieoffene Förderung

Nanotechnologische Forschung und Entwicklung wird auch durch verschiedene technologie- und branchenoffene Programme des Bundes gefördert.

Mit dem technologieoffenen Zentralen Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) fördert das BMWi anspruchsvolle, marktnahe FuE-Projekte mittelständischer Unternehmen. Die Unternehmen bestimmen die Themen selbst und können ihre Vorhaben als Einzelprojekte, als Kooperationsprojekte mit Forschungseinrichtungen oder mit anderen Unternehmen oder im Rahmen von innovativen Netzwerken durchführen.

Die Lücke zwischen Grundlagenforschung und wirtschaftlicher Anwendung füllt das Programm zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) des BMWi. Mit diesem Programm werden neue Technologien für ganze Wirtschaftszweige oder branchenübergreifend aufbereitet. Unternehmen, mehrheitlich KMU, begleiten die Forschungsarbeiten, damit diese sich an ihren Bedürfnissen und Interessen orientieren. Förderung aus der IGF können nur Forschungsvereinigungen der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e. V. (AiF) beantragen. Die AiF ist ein Zusammenschluss von rund 100 gemeinnützigen Forschungsvereinigungen der gewerblichen Wirtschaft, die gut 50.000 KMU repräsentieren. Die Einschaltung der Forschungsvereinigungen dient einer Vorprüfung und Qualitätssteigerung. Die Ergebnisse stehen jedoch allen interessierten Unternehmen – unabhängig von einer AIF-Mitgliedschaft – offen zur Verfügung und stellen die Vorstufe für firmenspezifische Entwicklungen dar.

Der High-Tech Gründerfonds (HTGF) des BMWi investiert in technologieorientierte Gründungen und junge Unternehmen, die einerseits besonders hohe Marktchancen, andererseits jedoch auch erhebliche technische Risiken haben. Neben Startkapital stellt der HTGF auch Betreuung und Unterstützung des Managements bereit.

Innovationen für neue Produkte und Dienstleistungen sind die Triebfeder des Erfolges der deutschen Wirtschaft. Mit dem Programm WIPANO – Wissens- und Technologietransfer durch Patente und Normen – fördert das BMWi öffentliche Forschung und Unternehmen bei der Patentierung und Verwertung ihrer Ideen und unterstützt innovative (Forschungs-) Projekte für die Normung.

Die BMBF-Fördermaßnahme „Validierung des technologischen und gesellschaftlichen Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung – VIP+“ adressiert Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die ihre Forschungsergebnisse wirtschaftlich verwerten oder gesellschaftlich anwenden wollen. Dadurch werden die Voraussetzungen für neue Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen geschaffen.

Im BMWi-Förderprogramm EXIST werden Wissenschaftler und Studierende bei der Vorbereitung ihrer technologieorientierten und wissensbasierten Existenzgründung unterstützt. Ein weiteres Ziel des Programms ist die Verbesserung der Gründungskultur an Hochschulen.

Im Rahmen der Förderinitiative KMU-innovativ werden vom BMBF kleine und mittlere Unternehmen dabei unterstützt, neue Produkte und Verfahren aussichtsreicher am Markt zu etablieren. Die Förderung zielt auf Fragestellungen mit großem Anwendungspotential und hohem technologischem Risiko In der Fördermaßnahme „KMU-innovativ: Materialforschung" sind dabei insbesondere Fragestellungen der Nanotechnologie eingebunden.

Im Rahmen des neuen Konzepts „Vorfahrt für den Mittelstand – Das Zehn-Punkte Programm des BMBF für mehr Innovation in kleinen und mittleren Unternehmen" werden eine Reihe von neuen themenoffenen Maßnahmen gestartet, in denen KMU gemeinsam mit Partnern innovative Ideen entwickeln und umsetzen können, beispielsweise im Rahmen von Innovationsforen.

Auf Vernetzungsaktivitäten von Forschung und Wirtschaft zur Schaffung leistungsfähiger innovativer Cluster fokussiert der Spitzencluster-Wettbewerb des BMBF. Durch diese Förderaktivität sollen einerseits Wachstum und Arbeitsplätze geschaffen und andererseits Beiträge zu den großen gesellschaftlichen und ökonomischen Herausforderungen geleistet werden. Zudem wird mit der BMBF-Maßnahme „Internationalsierung von Spitzenclustern" Zukunftsprojekten und vergleichbaren Netzwerken auch das weltweit verfügbare Wissen für die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit beteiligter Unternehmen erschlossen.

Mit der Förderinitiative „Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen" unterstützt das BMBF neun Partnerschaften von Wissenschaft und Wirtschaft, in denen mindestens eine Hochschule sowie außeruniversitäre Forschungseinrichtungen und Wirtschaftsunternehmen bis zu 15 Jahre ein gemeinsam aufgestelltes Forschungsprogramm bearbeiten. Gefördert werden Forschungsfelder mit hohem Forschungsrisiko und besonderem Potenzial für Sprunginnovationen.

5.4 Innovationsbegleitende Maßnahmen

Zu den Aufgaben einer strategischen Innovationspolitik gehören die Vernetzung von Wissenschaft und Wirtschaft, die Unterstützung des innovativen Mittelstandes, die Förderung der Ausbildung von Fachkräften, die schnellere Verbreitung neuer Technologien, die zielorientierte Koordination von Aktivitäten und die Stärkung der öffentlichen Wahrnehmung. Besonders in neuen branchenübergreifenden interdisziplinären Technologiefeldern wie der Nanotechnologie sind dafür innovationspolitische Lösungsansätze notwendig. Um das Potenzial der Nanotechnologie optimal zu erschließen und in neue Produkte, Anwendungen und gesellschaftlichen Nutzen gezielt umzusetzen, bedarf es innovationsunterstützender Maßnahmen, die über die unmittelbare Projekt- und Forschungsförderung deutlich hinausgehen und diese in zentralen Handlungsfeldern flankieren.

KMU sind für den Wirtschaftsstandort Deutschland und die Entstehung neuer Arbeitsplätze in der Nanotechnologie von großer Bedeutung. Für KMU ist es dabei extrem wichtig, erleichterten Zugang zu Ergebnissen der Forschung zu erlangen. Die Bundesregierung fördert daher durch gezielte Maßnahmen die Innovationskraft von KMUs und baut bestehende Innovationshemmnisse ab. Das BMBF unterstützt das Onlineportal nano-map.de[11], das eine interaktive Übersichtskarte der Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft für die Suche nach Kooperationspartnern bereitstellt. In Ergänzung werden Technologiegespräche und Dialogveranstaltungen durchgeführt, um frühzeitig branchenspezifische Problemstellungen zu adressieren und die Diffusion neuer Anwendungsmöglichkeiten in die wirtschaftliche Praxis aktiv zu unterstützen.

Aktivitäten zum Standortmarketing der deutschen Nanotechnologieszene umfassen Messepräsentationen und Konferenzauftritte, die Unternehmen bei der Anbahnung internationaler Kooperationen unterstützen. Oftmals haben deutsche KMU, Forscherverbünde, aber auch zum Teil große Firmen das Problem, innovative Ideen, Forschungsergebnisse und Produkte in ausländischen Wachstumsmärkten, insbesondere in Asien und Lateinamerika, zu etablieren. Durch die Auswahl internationaler Messestandorte, verknüpft mit der begleitenden Evaluierung der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit der jeweiligen Zielregion, werden frühzeitig potentielle strategische Partner für wissenschaftliche und technische Kooperationen adressiert. Das BMWi und das BMBF unterstützen hierbei interessierte Firmen durch Beratung und die Organisation von Länderständen und German Pavillons.

Die gezielte Nachwuchsförderung des BMBF trägt zur nachhaltigen Sicherung von gut ausgebildeten Fachkräften für Arbeitsplätze auf dem Gebiet der Nanotechnologie bei. Diese Gewinnung wissenschaftlicher Talente beginnt bereits durch die Organisation von Ferienpraktika, die in Kooperation mit renommierten Forschungsinstitutionen stattfinden. Zudem hält das Internetportal nanobildungslandschaften.de[12] Informationen zu Aus- und Weiterbildungsangeboten bereit.

Der wissenschaftliche Nachwuchs soll in Deutschland gute Startbedingungen am Karriereanfang finden. Das gilt insbesondere für Spitzenkräfte, die international stark umworben werden. Das BMBF förderte bereits seit 2002 über den Wettbewerb „NanoFutur“ exzellente Nachwuchsforscher in der Nanotechnologie. Seit 2013 erfolgt die Förderung durch den Nachwuchs-Wettbewerb „NanoMatFutur“ in der Werkstoffforschung mit einem breiten integrativen Ansatz, der nanotechnologische Aspekte einschließt. Ausgewählte Preisträger erhalten hier die Möglichkeit, eine eigene Forschungsgruppe aufzubauen und sich mit einem anspruchsvollen Forschungsthema für die wissenschaftliche Laufbahn zu qualifizieren. In diesen Nachwuchsgruppen werden junge Ingenieure und Naturwissenschaftler für eine akademische oder industrielle Karriere ausgebildet.

Bereits seit 2006 flankiert die Bundesregierung ihre Förderaktivitäten mit verschiedenen Bürgerdialogformaten, um der interessierten Öffentlichkeit Informationen über aktuelle Trends und Entwicklungen, Potenziale, Chancen und Risiken der Nanotechnologie zur Verfügung zu stellen. Der wirtschaftliche Erfolg der Nanotechnologie hängt unmittelbar von der gesellschaftlichen Aufgeschlossenheit gegenüber dieser Technologie ab. Mögliche Risiken der Nanotechnologie in den Bereichen des Verbraucher-, Arbeits- und Umweltschutzes können eine ernstzunehmende Innovationsbarriere bei der Vermarktung nanotechnologischer Produkte darstellen. Durch Beteiligung der verschiedenen Akteure und gesellschaftlichen Interessensvertreter an Fachgremien und Dialogveranstaltungen wird ein Beitrag zur Transparenz und Versachlichung des gesellschaftlichen Risikodiskurses geleistet. Um potenzielle Informationslücken in der Öffentlichkeit gezielt zu schließen, werden im Rahmen des Veranstaltungsformats „Bürger treffen Experten“ an verschiedenen Orten in Deutschland Forschungsergebnisse an Bürgerinnen und Bürger vermittelt und offen hinsichtlich ihrer Chancen und Risiken diskutiert.

6. Risiken von Nanomaterialien für Mensch und Umwelt erkennen – Innovationen nachhaltig gestalten

Die Weiterentwicklung von Prüf- und Messverfahren für die Risikocharakterisierung, die Unterstützung von Forschungseinrichtungen und Unternehmen bei der anwendungssicheren und umweltverträglichen Gestaltung von Materialinnovationen, die Ableitung von Handlungsoptionen für das Risikomanagement und die weitere Optimierung der Risikokommunikation stehen im Mittelpunkt dieses Aktionsplans. Sie werden unterstützt durch eine gemeinsamen Forschungsstrategie „Nanomaterialien und andere innovative Werkstoffe: anwendungssicher und umweltverträglich“ der Bundesoberbehörden BAuA, BfR, UBA, BAM und PTB.

In den letzten 10 Jahren wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, die wissenschaftlichen Grundlagen zur Bewertung möglicher Risiken von Nanomaterialien für Mensch und Umwelt zu schaffen und kontinuierlich zu verbessern. Aus den Ergebnissen einer Vielzahl von Forschungsprojekten zeigt sich, dass Nanomaterialien nicht per se mit einem Risiko für Mensch und Umwelt verbunden sind. Ebenso wenig wurden bisher neue Wirkungen von Nanomaterialien auf die menschliche Gesundheit beschrieben.

Es wird jedoch immer deutlicher, dass auch im „neuem Gewand“ der Nanomaterialien bekannte Wirkungen von Stoffen, Partikeln und Fasern auftreten können. So setzen einige Nanomaterialien lungengängige faserförmige Partikel frei, die aufgrund ihrer langen Verweildauer im Körper (Biobeständigkeit) möglicherweise eine Krebs erzeugende Wirkung aufweisen. Dies ist jedoch nicht auf Nanomaterialien beschränkt. Daher wählt der Aktionsplan bewusst einen Rahmen für die Risikoforschung, der erforderlichenfalls auch weitere innovative Werkstoffe mit vergleichbaren Risiken für Mensch und Umwelt einschließt. Es ist auch zu prüfen, ob und wie die Instrumente der Risikobewertung angepasst werden müssen. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung sollen die Aktivitäten dazu beitragen, Risiken für Mensch und Umwelt in einem frühen Stadium der Innovation zu erkennen und Möglichkeiten für eine anwendungssichere und umweltverträgliche Gestaltung neuer Materialien zu eröffnen.

6.1 Risiken frühzeitig erkennen und bewerten

In einer Vielzahl von Forschungsprojekten wurden Anwendbarkeit und Aussagekraft etablierter Prüfmethoden und Konzepte zur Bewertung der Risiken von Industriechemikalien für Mensch und Umwelt geprüft. Sie konzentrierten sich vor allem auf Nanomaterialien, die bereits in größerem Maßstab industriell hergestellt werden, wie Nano-Titandioxid, Industrieruß (Carbon Black), Nano-Kieselsäure, Nanosilber und weitere nanoskalige Pigmente. Oftmals wurde hierbei die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung und spezifischen Anpassung von Prüfverfahren deutlich. Darüber hinaus ist die zunehmende Vielfalt und Komplexität von neuen Nanoma-

terialien, die an der Schwelle zur Anwendung und Vermarktung stehen, eine Herausforderungen für die Risikoforschung.

Für den Arbeitsschutz stehen Gefährdungen durch das Einatmen lungengängiger und biobeständiger Stäube im Vordergrund. Diese sind besonders kritisch, wenn die Staubpartikel faserförmig sind. Darüber hinaus können Oberflächenmodifikationen und die Freisetzung von Ionen bei weniger biobeständigen Materialien die Toxizität beeinflussen. Die bekannten Nanomaterialien wurden daher den Gruppen „granuläre biobeständige Stäube (GBS)“, „lungengängige biobeständige Fasern“ und „spezifische Toxizität“ zugeordnet. Die Gruppenzuordnung adressiert unterschiedliche, aber bereits etablierte Prüf- und Schutzstrategien, die in gegebenenfalls modifizierter Form auch auf Nanomaterialien angewendet werden können. Bei lungengängigen Fasern lässt sich eine krebserzeugende Wirkung durch die Einflussgrößen „Faserform“, „kritische Länge“, „kritischer Durchmesser“ und „Biobeständigkeit“ charakterisieren. Die kritischen Faserdimensionen betreffen Faserlängen zwischen 5 und 100 Mikrometer und Faserdurchmesser unterhalb von 3 Mikrometern. Jüngste Forschungsergebnisse deuten an, dass für eine kanzerogene Wirkung die Faser ausreichend steif sein und somit einen Mindestdurchmesser aufweisen muss. Dies wäre eine Erklärung, warum bei verschiedenen Kohlenstoffnanoröhrchen große Unterschiede in der Ausprägung der toxischen Wirkungen beobachtet wurden. Daher sollen im Rahmen des Aktionsplans Prüfverfahren zur Ermittlung der Freisetzung, der Morphologie, insbesondere der Rigidität, und der Biobeständigkeit von Fasern entwickelt oder angepasst werden. Damit werden Grundlagen für eine differenzierte Risikobewertung von Nanokohlenstoffen und anderen faserförmigen Materialien geschaffen.

Wenig beachtet wurde bislang die Bewertung des Staubexplosionsverhaltens nanoskaliger Stäube. Insbesondere für die gewerbliche Verarbeitung besteht Handlungsbedarf. Es soll ermittelt werden, wie chemische Zusammensetzung, Fließverhalten und Staubungsneigung das Explosionsverhalten beeinflussen.

Für den Verbraucherschutz sind der sensitive Nachweis und die Charakterisierung von Nanomaterialien sowie die Untersuchung einer möglichen Freisetzung im Lebenszyklus nanotechnologischer Produkte von zentraler Bedeutung. Eine Vielzahl von Nachweisverfahren und Referenzmaterialien ist inzwischen verfügbar, aber für die Routineanwendung durch Unternehmen und Aufsichtsbehörden vielfach zu aufwändig und daher nur begrenzt einsetzbar. Dies betrifft zum Beispiel Charakterisierungen im Zusammenhang mit der Kennzeichnungspflicht für Lebensmittel und Kosmetika, falls komplexe Matrizes mit hochsensitiven Messgeräten analysiert werden müssen. Hier leisten die Ressortforschungseinrichtungen einen wesentlichen Beitrag durch die Weiterentwicklung der Materialcharakterisierungsverfahren und stellen das Know-how für die Interpretation der Messergebnisse sowie Referenzverfahren und –materialien zur Verfügung.

Für Lebensmittel ist die eventuelle Aufnahme von Nanomaterialien über den Verdauungstrakt bedeutsam für die in diesem Bereich rechtlich vorgeschriebene Risikobewertung und Zulassung vor dem Inverkehrbringen. Falls Nanopartikel über die Darmbarriere in den Körper aufgenommen würden, könnten sie sich gegebenenfalls in verschiedenen Organen anreichern. Neben der Bioverfügbarkeit und -akkumulation müssten vor einer etwaigen Zulassung auch Fragen der Toxizität und Degradation der Partikel betrachtet werden. Ein mögliches Beispiel für die Verwendung von Nanomaterialien in Lebensmitteln sind Verkapselungen von Vitaminen und Spurenelementen aus organischen Systemen.

Die Diffusion von Nanopartikeln aus Lebensmittelkontaktmaterialien auf Lebensmittel ist nach bisherigen Erkenntnissen sehr gering. Im Falle abrasiver Bedingungen kann ein Übergang auf das Lebensmittel jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Diese Wissenslücke soll durch Anwendung sensitiver Nachweisverfahren geschlossen werden.

Für die Zulassung von Arzneimitteln sind die derzeitigen Verfahren zur Risikobewertung geeignet, um etwaige Risiken von nanoskaligen Inhaltsstoffen für Menschen und Tiere zu identifizieren und eine belastbare Risiko-Nutzen-Abwägung zu ermöglichen. Auch hier müssen die Fortschritte in der Wissenschaft sorgfältig beobachtet werden, um die Bewertungsverfahren gegebenenfalls weiterzuentwickeln.

Im sehr materialintensiven Bausektor finden sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für Nanomaterialien, die die spezifischen Eigenschaften von Bauprodukten verbessern und optimieren können, zum Beispiel als Betonzusatzmittel oder für den Schutz von Oberflächen gegen Witterungseinflüsse, Alterungsprozesse oder mechanische Einwirkungen. Diese häufig verbrauchernahen Verwendungen verlangen nach einer soliden Risikobewertung möglicher Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder auch der Umwelt bei Freisetzung in die Gebäudeumgebung. Nach den Bauordnungen der Länder sind Gebäude so zu errichten, dass Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden. Deshalb setzt sich die Bundesregierung dafür ein, gemeinsam mit den Ländern frühzeitig Lösungen zur Bewertung von Bauprodukten zu

finden, die unter Verwendung von Nanomaterialien hergestellt wurden, und die Entwicklung hierfür geeigneter Bewertungsverfahren zu initiieren und zu unterstützen.

Auch im Umweltschutz zeigt sich, dass die Nanoskaligkeit eines Stoffes allein nicht automatisch auf ein Gefährdungspotenzial hinweist. Vielmehr wird die potenziell schädigende Wirkung eines Nanomaterials neben seiner chemischen Zusammensetzung auch von Eigenschaften wie seiner Größe, Geometrie, Kristallstruktur und Oberflächeneigenschaften (Ladung, Struktur, Oberflächenchemie) bestimmt. Zusätzlich beeinflussen die Umgebungsparameter (pH-Wert, Salzgehalt, Gehalt an natürlichen organischen Substanzen) die Mobilität, Bioverfügbarkeit und toxische Wirkung von Nanomaterialien in der Umwelt. Zur Abschätzung der Effekte auf Umweltorganismen wurden in den letzten Jahren belastbare Daten generiert. Mit diesen sollen nun die Instrumente zur Umweltgefährlichkeitsbewertung erweitert und angepasst werden.

Zur Risikobewertung für den Umweltschutz ist aber auch die Ermittlung einer potenziellen Umweltexposition erforderlich. Hier fehlen sowohl belastbare Abschätzungsmodelle als auch notwendige Daten zu Produktionsmengen, Anwendungsbereichen und möglichen Freisetzungsquellen. Messmethoden werden derzeit evaluiert und standardisiert, um verlässliche Aussagen zur Freisetzung von Nanomaterialien aus Produkten und Anwendungen und zum qualitativem und quantitativem Nachweis in den verschiedenen Umweltkompartimenten zu generieren. Bisherige Expositionsabschätzungsmodelle basieren auf thermodynamischen Prozessen, bei denen eine Verteilung zwischen den verschiedenen Umweltkompartimenten bis zum Erreichen eines Konzentrationsgleichgewichts angenommen wird. Verhalten und Verbleib von Nanomaterialien in der Umwelt unterliegen hingegen vorrangig kinetischen Prozessen wie Agglomeration und Sedimentation. Auch können den Nanomaterialien in den Umweltkompartimenten vorhandene Feststoffe anhaften. Biodegradation, als wichtiger Parameter für die Ermittlung der Umweltexposition vieler Stoffe, ist für viele anorganische Nanomaterialien hingegen nicht relevant. Wichtig sind aber abiotische Veränderungen durch chemische Transformation, durch Verlust von Oberflächenbeschichtungen oder durch Bindung von anderen Stoffen.

Für alle Schutzziele ist es wichtig, nicht nur regulatorisch belastbare Aussagen zu den Risiken für Mensch und Umwelt einzelner Materialien zu gewinnen. Vielmehr sollen Wirkhypothesen abgeleitet und überprüft werden, die gegebenenfalls eine Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf andere Stoffformen ermöglichen. Ziel ist es, Konzepte zu entwickeln, die es erlauben, Nanomaterialien hinsichtlich ihrer Gefährdung ausreichend zu bewerten, aber Einzelprüfungen einer großen Anzahl verschiedener Formen zu vermeiden. Aus den Untersuchungen sollten auch aussagekräftige Dosis-Wirkungsbeziehungen abgeleitet werden, die als wissenschaftliche Basis für Grenz- und Richtwerte im Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutz notwendig sind. Aber auch die Entwicklung tierversuchsfreier Prüfverfahren und einfacher Methoden als „Frühwarnsystem“ soll weiter vorangetrieben werden.

6.2 Materialinnovationen anwendungssicher und umweltverträglich ausrichten

Eine Vielzahl von weiteren Materialien steht an der Schwelle von der Anwendungsforschung zum Markteintritt. Dazu gehören auch aus bislang unzureichend bewerteten chemischen Stoffen (zum Beispiel Seltenerdverbindungen) hergestellte Nanomaterialien. Hinzu kommen Werkstoffe, deren physikochemische Eigenschaften für bestimmte Zwecke zielgerichtet und weitgehend verändert wurden, beispielsweise durch Oberflächenfunktionalisierung oder Dotierung. Im Rahmen des Nanoaktionsplans sollen Forschungseinrichtungen und Unternehmen unterstützt werden, die Tätigkeiten mit innovativen Materialien auch dann sicher zu gestalten, wenn wesentliche Daten zur Risikobewertung noch nicht vorliegen. Neben der Ableitung von vorläufigen Arbeitsschutzmaßnahmen auf Grundlage des Vorsorgeprinzips ist es von entscheidender Bedeutung, ob der bisherige Gruppierungsansatz ausreichend ist oder weiterentwickelt werden muss. Grundsätzlich neue Risikomuster, die bei den bislang betrachteten Nanomaterialien allerdings noch nicht beobachtet wurden, können nur durch eine kontinuierliche Grundlagenforschung und die Aufmerksamkeit aller am Innovationsprozess beteiligten Akteure erkannt werden.

Nanomaterialien und andere innovative Werkstoffe unterliegen den einschlägigen Prüf- und Informationspflichten der europäischen Chemikaliensicherheit. Allerdings beziehen sich diese nur auf bereits bekannte und wissenschaftlich gut beschriebene Gefährdungen und greifen häufig erst, wenn ein innovatives Material in großer Menge in Verkehr gebracht wird. Die tonnageabhängigen Prüfpflichten bergen die Gefahr, dass langfristige Wirkungen eines innovativen Stoffes oder Materials auf Mensch und Umwelt erst Jahrzehnte nach dem Markteintritt erkannt werden. Das frühzeitige Erkennen möglicher Risiken von Nanomaterialien für Mensch und Umwelt und die Anwendung des Vorsorgeprinzips zur Vermeidung oder Verringerung negativer Umwelt- und Gesundheitsfolgen gehören daher zu den zentralen Anliegen dieses Aktionsplans. Erforderlich hierfür ist die kontinuierliche Weiterentwicklung bestehender Prüfmethoden sowie eine innovationsbegleitende Risikoforschung. Diese sollte bekannte Wirkprinzipien an neuen Materialien testen, aber auch bislang nicht

erkannte Gefährdungen im Blickfeld haben. Auf diese Weise sollen anwendungssichere und umweltverträgliche Materialinnovationen gefördert werden, um unternehmerische Fehlinvestitionen und hohe soziale Folgekosten zu vermeiden. Die entwickelten Ansätze und Prüfmethoden für die Früherkennung von Gesundheits- und Umweltrisiken können dabei Leitlinien für ein anwendungssicheres und umweltverträgliches Design innovativer Materialien und deren Folgeprodukte sein. Hierzu müssen wissenschaftliche Erkenntnisse dahingehend ausgewertet werden, welche Materialmodifikationen es erlauben, Risiken für Gesundheit und Umwelt von vorne herein zu minimieren oder auszuschließen. Das Staubungsverhalten von Nanomaterialien und anderen innovativen Werkstoffen soll systematisch untersucht werden, um emissionsarme Verwendungsformen zu identifizieren und Zusammenhänge mit Materialstruktur und Handhabungsart zu identifizieren.

Durch eine verbessere Zusammenarbeit von Produktentwicklern, Materialwissenschaftlern und Experten aus der Risiko- und Sicherheitsforschung soll die Anwendungssicherheit und Umweltverträglichkeit von Materialinnovationen gefördert werden. Im Rahmen des Aktionsplans sollen in einem Modellvorhaben der BAuA mit Forschungsinstituten und Unternehmen Private-Public-Governance Netzwerke aufgebaut werden, um anwendungssichere und umweltverträgliche Gestaltungskonzepte für neue Materialien zu entwickeln und zu verbreiten.

6.3 Produktlebenszyklen nachhaltig anlegen

Nanomaterialien bieten aufgrund ihrer besonderen Eigenschaften ein großes Potential, energieeffiziente und ressourcenschonende Produkte bereitzustellen. Dabei sind aber auch die Auswirkungen des Produktes auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus zu betrachten. Beispielsweise werden mehrere Milliarden Tonnen Baustoffe jährlich in Deutschland verbaut und rückgebaut. Daher ist bei der Risikobewertung eine mögliche Exposition während der Nutzungsphase, durch Staubentwicklung beim Rückbau und das Einbringen von Problemstoffen in Stoffkreisläufe zu berücksichtigen. Hierbei sind auch Aspekte des Informations- und Wissensmanagements wichtig, wie beispielsweise das Sammeln, Bereitstellen, Bewahren und Weiterreichen von Risikoinformation ab der Planung, über die Umsetzung und Nutzung bis hin zum Rückbau eines Gebäudes.

Die Abschätzung der Chancen und Risiken neuer Produktinnovationen muss auf einer wissenschaftlich fundierten Grundlage durchgeführt werden. Instrumente zur ökobilanziellen Betrachtung nanomaterialhaltiger Produkte wurden bereits entwickelt, doch es gibt bislang nur für wenige Produkte eine qualitative und quantitative Betrachtung des Umwelt- und Nachhaltigkeitspotenzials. Hinzu kommt, dass nanotechnische Produkte und Anwendungen oftmals noch in einem frühen Anwendungsstadium sind und davon auszugehen ist, dass sich zentrale Kenngrößen z. B. durch effizientere Produktionsverfahren noch wesentlich ändern.

Hersteller und Importeure tragen die Verantwortung, dass innovative Werkstoffe und die aus ihnen hergestellten Produkte den gesetzlichen Anforderungen der europäischen Chemikaliensicherheit entsprechen. Hinzu kommen gegebenenfalls Vorgaben aus europäischen und nationalen Regelungen für den Arbeits-, Verbraucher- und Umweltschutz. Stoffe und Gemische sind vor dem Inverkehrbringen nach den vorliegenden Erkenntnissen einzustufen und mit einer Gefahrenkennzeichnung zu versehen. Für gewerbliche Abnehmer ist ein Sicherheitsdatenblatt zu erstellen. Für bestimmte Produktgruppen wie etwa Lebensmittel, Kosmetika und Biozide gelten Genehmigungs- und Zulassungspflichten, oder es sind zusätzliche Kennzeichnungspflichten zur Verbraucherinformation zu beachten. Zur Gewährleitung eines nachhaltigen Schutzes von Mensch und Umwelt ist es unerlässlich, dass die Regulierung Schritt hält mit den raschen und großen Fortschritten in der Materialentwicklung. Die in den Regelungen zur Chemikalien- und Produktsicherheit vorgegebenen Prüf- und Informationsanforderungen decken einige Risiken für Mensch und Umwelt, die von Nanomaterialien und anderen innovativen Werkstoffen ausgehen können, noch nicht adäquat ab. Hier ist die Eigenverantwortung des Herstellers oder Importeurs für die Stoff- und Produktsicherheit derzeit allein maßgeblich für die Einhaltung der Schutzziele. Daher ist es vor allem aus Sicht des Verbraucher- und Umweltschutzes notwendig, den Lebenszyklus relevanter Materialien und entsprechender Produkte im Sinne einer Nachverfolgbarkeit im Blickfeld zu behalten.

Offene Fragen der Risikobewertung für Mensch und Umwelt gibt es auch bei der Bearbeitung von Kompositwerkstoffen, die Nanomaterialien und andere innovative Materialien als fest gebundenen Bestandteil enthalten. Hier können Bearbeitungsverfahren, Nutzungsart und Alterung einen entscheidenden Einfluss auf eine mögliche Freisetzung im Lebenszyklus haben. Im Rahmen des Nanoaktionsplans sollen Kriterien für emissionsarme Produkte und Bearbeitungsverfahren abgeleitet werden. Bei den Kompositen soll neben dem Staubungsverhalten auch eine mögliche Konzentrierung von Nanomaterialien an der Oberfläche des bearbeiteten oder gealterten Werkstoffes berücksichtigt werden. Einbezogen werden auch Tätigkeiten am Ende des Lebenszyklus beim Recycling und bei der Entsorgung.

6.4 Risikokommunikation intensivieren

Die hohe Dynamik in der Materialentwicklung, aber auch in der Generierung risiko- und maßnahmenrelevanter wissenschaftlicher Daten macht besondere Anstrengungen notwendig, um alle involvierten Zielgruppen auf aktuellem Stand und handlungsfähig zu halten. Der notwendige Kompetenzaufbau erfordert langfristige Beschäftigungs- und Weiterbildungsmöglichkeiten für Experten aus der Risiko- und Sicherheitsforschung. Zudem sollen angehendende Wissenschaftler und Produktentwickler für Fragen des Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes sowie eines anwendungssicheren und umweltverträglichen Designs neuer Materialien und Produkte sensibilisiert werden. Dies soll durch eine intensivierte Zusammenarbeit von Materialwissenschaftlern und Experten aus der Risiko- und Sicherheitsforschung erreicht werden, wofür entsprechende Schulungs- und Studienangebote an Weiterbildungsakademien und Universitäten geschaffen werden sollten.

Für die Akteure entlang der Lieferkette von Stoffen und Gemischen ist die inzwischen weltweit angeglichene Gefahrenkennzeichnung mit Piktogrammen, Gefahren- und Sicherheitshinweisen das wichtigste Instrument zur Risikokommunikation. Gewerbliche Abnehmer erhalten zusätzlich vom Lieferanten ein umfassendes Sicherheitsdatenblatt. Dieses ist auch die zentrale Informationsquelle des Arbeitgebers für die gesetzlich vorgeschriebene Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz und die Auswahl von Arbeitsschutzmaßnahmen. Von der Gefahrenkennzeichnung und den Informationspflichten bislang nicht ausreichend erfasst sind u. a. Gefährdungen durch die Freisetzung lungengängiger biobeständiger Partikel. Auch das Kenntlichmachen möglicher Gefahrenpotentiale von Kompositwerkstoffen wie etwa einer Freisetzung von reaktiven oder biobeständigen Partikeln bei Bearbeitung, Gebrauch oder am Ende ihres Lebenszyklus ist derzeit noch nicht befriedigend gelöst. Die Bundesregierung wird sich weiterhin dafür einsetzen, für Nanomaterialien und andere Werkstoffinnovationen eine optimale und angemessene Transparenz, Risiko- und Maßnahmenkommunikation zu erreichen. Sicherheitsdatenblätter müssen Arbeitgebern eine belastbare Gefährdungsbeurteilung ermöglichen und daher präzise Angaben zur Materialcharakterisierung, physikalisch-chemischen, toxischen und ökotoxischen Eigenschaften und notwendigen Schutzmaßnahmen enthalten. Hier gibt es noch erhebliche Defizite. Verlässliche Angaben der Hersteller sind auch notwendig, um Nanomaterialien in der Verbraucherinformation angemessen zu berücksichtigten.

Untersuchungen im Jahr 2012 ergaben, dass in der Bevölkerung gegenüber Nanomaterialien keine grundsätzlich hohe Besorgnis existiert[13]. Allerdings wird der Einsatz in Produkten, die intensiv mit dem menschlichen Körper in Kontakt kommen, eher kritisch gesehen. Die repräsentativen Bevölkerungsbefragungen und Medienanalysen zur Wahrnehmung der Nanotechnologie in der Bevölkerung sollen fortgeführt werden. Ein Schwerpunkt ist die Art der Darstellung der Nanotechnologie in den Medien. Aus den Ergebnissen werden zielgruppengerechte Risikokommunikationsstrategien abgeleitet, um die Fortschritte bei der Risikobeschreibung weiterhin transparent und nachvollziehbar an die Fachöffentlichkeit und andere interessierte Personenkreise weiterzugeben. Durch Begleitstudien soll evaluiert werden, ob die Vermittlung dieser Erkenntnisse zu Veränderungen in der Risikowahrnehmung führen. Dabei soll auch der zunehmenden Bedeutung von sozialen Netzwerken Rechnung getragen werden.

7. Rahmenbedingungen für nachhaltige Innovationen schaffen

Ziel aller gesetzlicher Rahmenbedingungen und Regulierungsbestrebungen der Bundesregierung ist, die ökonomischen, soziologischen und ökologischen Potenziale der Nanotechnologie kontrolliert zu nutzen und dabei mögliche Risiken zu vermeiden. Notwendige regulatorische Maßnahmen und verlässliche Normen und Standards werden daher gleichermaßen weiter entwickelt.

7.1 Gesetzgebung und Regulierung

Chemikalienrecht

Das europäische Chemikalienrecht, besonders die Europäischen Verordnungen REACH und die Verordnung über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen (CLP)[14], bilden neben den spezifischen Bestimmungen, wie etwa für Kosmetika oder Lebensmittel, derzeit den wichtigsten Rahmen für gesetzliche Grundlagen zum Inverkehrbringen von chemischen Stoffen, darunter werden auch nanoskalige mit erfasst.

Prinzipiell werden alle Stoffe ab einer bestimmten Mengenschwelle (1 Tonne/Jahr) unter REACH erfasst. Die Bundesregierung geht davon aus, dass die Bestimmungen von REACH im Grundsatz gut geeignet sind, Risiken von nanoskaligen Formen zu registrierender Stoffe mit zu erfassen. Allerdings muss die Verordnung noch an die inzwischen aus der Risikoforschung gewonnenen Erkenntnisse zu Nanomaterialien angepasst werden.

Die Bundesregierung diskutiert mit den europäischen Partnern ein umfassendes Konzept, wie Nanomaterialien unter REACH geregelt werden können. Es sieht Ergänzungen in den Bestimmungen vor, insbesondere die Einführung einer Definition für Nanomaterialien und die Aufnahme zusätzlicher Prüfungen zur Charakterisierung von Nanomaterialien sowie eine Anpassung des Standard-Prüfprogramms an die besonderen Eigenschaften von Nanomaterialien. Mit diesen Änderungen und den bereits in REACH vorhandenen Instrumentarien zur Risikobewertung und zum Risikomanagement kann die Nanotechnologie den Anforderungen des Arbeits-, Umwelt- und Verbraucherschutzes gerecht werden. Die Europäische Kommission (KOM) hat die Anpassung der Anhänge der EU- Chemikalienverordnung REACH im Hinblick auf Nanomaterialien (wie etwa Anpassung von Definitionen oder modifizierte Tests) angekündigt.[15] Schon im Nano Aktionsplan 2015 hatte die Bundesregierung eine konstruktive Begleitung dieses Regulierungsprozesses beschlossen. Deshalb hat sie die Bundesoberbehörden gebeten, einen konkreten Textvorschlag als Diskussionsgrundlage der KOM vorzulegen. Dies ist 2013 erfolgt. Seitdem hat die Kommission keinen offiziellen Vorschlag vorgelegt. Mit einer rechtlich verbindlichen Regelung für die dritte Registrierungsphase, die am 31. Mai 2018 endet, ist nicht mehr zu rechnen. Die Bundesregierung wird sich weiter in einem konstruktiven Prozess dafür einsetzen, dass die Europäische Kommission REACH durch die Erkenntnisse aus der Risikoforschung zu Nanomaterialien ergänzt und vorhandene Lücken beim Schutz von Mensch und Umwelt schließt.

Für industrielle und gewerbliche Abnehmer muss ein Sicherheitsdatenblatt erstellt werden, welches wichtige Informationen zur Identität des Produktes, auftretenden Gefährdungen, zur sicheren Handhabung und zu Maßnahmen zur Prävention und für den Gefahrenfall enthält. Es wird angestrebt, dass diese zukünftig weitere, auch für Nanomaterialien sicherheitsrelevante Informationen enthalten, wie etwa zum Staubungsverhalten.

Ohne jedwede Mengenschwelle greifen die europäischen Regelungen zur Einstufung und Kennzeichnung (GHS/CLP – Globally Harmonized System/Regulation on Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures). So besteht für alle in Verkehr gebrachten Stoffe und Gemische für den Hersteller oder Importeur die Pflicht, die Gefahreneigenschaften zu bewerten. Derzeit wird in einer Arbeitsgruppe der UN geprüft, ob die bestehenden GHS Einstufungskriterien auf Nanomaterialien anwendbar sind. Da bei der Einstufung gemäß CLP die Form eines Stoffes zu berücksichtigen ist, sind Daten zu nutzen, die unter Einbeziehung spezifischer Anforderungen an die Untersuchung von Nanomaterialien erhoben wurden.

Lebensmittel

Für Lebensmittel, die technisch hergestellte Nanomaterialien enthalten, sind die allgemeinen lebensmittelrechtlichen Vorschriften maßgeblich[16]. Danach dürfen nur sichere Lebensmittel hergestellt und in den Verkehr gebracht werden. Weiterhin sind je nach Art des Lebensmittels spezifische Regelungen relevant: Sollen Stoffe in nanoskaliger Abmessung als Lebensmittelzusatzstoffe, also zu technologischen Zwecken in Lebensmitteln eingesetzt werden, unterliegen sie der Zulassungspflicht.[17] Eine Zulassung wird nur erteilt, wenn sich bei der gesundheitlichen Bewertung durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit keine Bedenken gegen den vorgesehenen Einsatz ergeben. Sollen nanopartikuläre Stoffe zu anderen Zwecken verwendet werden (z. B. zu ernährungsphysiologischen Zwecken), so sind ebenfalls eine Sicherheitsbewertung und Zulassung vor dem Inverkehrbringen erforderlich, wenn das Lebensmittel auf Grund des Einsatzes eines bisher „nicht üblichen“ Herstellungsverfahrens eine bedeutende Veränderung seiner Zusammensetzung oder Struktur erfahren hat.[18]

Zur Information der Verbraucherinnen und Verbraucher wurde zudem EU-weit eine Kennzeichnungspflicht für Lebensmittelzutaten aus technisch hergestellten Nanomaterialien eingeführt.[19] Danach sind diese im Zutatenverzeichnis mit dem Klammerzusatz „Nano“ zu ergänzen. Die Verordnung zur Kennzeichnungspflicht enthält auch eine Definition, was unter „technisch hergestellte Nanomaterialien“ zu verstehen ist.

Lebensmittelbedarfsgegenstände

Lebensmittelbedarfsgegenstände müssen - unabhängig von den angewandten Herstellungsverfahren und der Partikelgröße der zu ihrer Herstellung eingesetzten Stoffe - den allgemeinen Anforderungen der Rahmenverordnung für Lebensmittelbedarfsgegenstände/Lebensmittelkontaktmaterialien genügen.[20] Dabei ist von den verantwortlichen Unternehmern sicherzustellen, dass die menschliche Gesundheit nicht gefährdet ist. Ergänzend bestehen für die Verwendung bestimmter Stoffe darüber hinausgehende spezifische Anforderungen. So sieht die EU-Kunststoffverordnung[21] eine Zulassungspflicht für Nanomaterialien vor. Eine solche Zulassung erfolgt auf Basis einer gesundheitlichen Bewertung durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit. Auf nationaler Ebene wird derzeit an einer Verordnung mit speziellen Vorschriften für die Bedruckung von Lebensmittelbedarfsgegenständen gearbeitet. Vorgesehen sind darin auch Regelungen für die Verwendung von Nanomaterialien.

Biozid-Produkte

Im Biozid-Recht[22] sind die formalen und inhaltlichen Prüf- und Zulassungsvorschriften geregelt und adressieren auch die möglichen nanoskaligen Eigenschaften von Bioziden. Sofern in einem Biozid-Produkt Nanomaterialien eingesetzt werden, muss eine gesonderte Risikobewertung durchgeführt werden. Hierfür müssen Vorgaben zu spezifischen Datenanforderungen hinsichtlich physikalisch-chemischer Eigenschaften zur Risikobewertung entwickelt werden. Weiterhin fordert das Gesetz ausdrücklich, dass die Anwendbarkeit der vorgeschriebenen toxikologischen Prüfmethoden auf nanoskalige Produkte fallweise zu prüfen ist. Die Kennzeichnung von nanoskaligen Bestandteilen auf dem Etikett ist Pflicht.

Pflanzenschutzmittel

Pflanzenschutzmittel unterliegen der Zulassungspflicht. [23] Dabei ist sicherzustellen, dass die Anwendung keine schädlichen Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Tier und auf das Grundwasser und keine nicht vertretbaren Auswirkungen auf den Naturhaushalt hat. Das gilt auch für nanoskalige Inhaltsstoffe von Pflanzenschutzmitteln.

Kosmetika

In der Verordnung über kosmetische Mittel[24] sind spezifische Regelungen zur Verwendung von Nanomaterialien enthalten. So sieht die Verordnung grundsätzlich eine Notifizierungspflicht für Nanomaterialien in kosmetischen Mittel bei der Europäischen Kommission vor. Eine Zulassungspflicht besteht darüber hinaus für nanoskalige UV-Filter, Farbstoffe sowie Konservierungsstoffe. Weiter ist für Kosmetika die Kennzeichnung von nanoskaligen Bestandteilen durch den Zusatz „Nano“ verpflichtend.

Arzneimittel und Medizinprodukte

Arzneimittel für Mensch[25] und Tier[26] bedürfen der Zulassung durch die zuständigen Behörden. Im Zulassungsantrag müssen Informationen zur Qualität, Wirksamkeit und Unbedenklichkeit aus Laboruntersuchungen und klinischen Studien am Menschen beziehungsweise Feldstudien in der Zieltierart enthalten sein. Die Abwägung von Nutzen und Risiko, die auch eine Bewertung von Umweltaspekten einschließt, ist wichtiger Bestandteil der Zulassungsentscheidung.

Ähnlich wie bei den Arzneimitteln verhält es sich bei den nanohaltigen Medizinprodukten. Sie sollen gemäß der künftigen (noch zu verabschiedenden) europäischen Verordnung über Medizinprodukte[27] in Abhängigkeit vom Ausmaß der Exposition der Nanomaterialien im menschlichen Körper in drei Risikoklassen eingruppiert werden. Diese risikobasierte Klassifizierung ist insofern bedeutend, da durch sie unmittelbar Art und Umfang des Konformitätsbewertungsverfahrens zur Erlangung der Vermarktungsfähigkeit bestimmt wird (vergleichbar dem Zulassungsverfahren bei Arzneimitteln).

Transparenz über Nanomaterialien in Produkten

Die Europäische Kommission plant derzeit die Einführung eines Instruments zur Erhöhung der Transparenz über nanomaterialhaltige Produkte auf dem Europäischen Markt. Sie errichtet eine Beobachtungsstelle bei der ECHA. Die Bundesregierung wird sich mit Nachdruck dafür einsetzen, mit diesem Instrument das Ziel der Transparenz über Art, Menge und Anwendungen von Nanomaterialien auf dem europäischen Markt zu erreichen. Eine Voraussetzung dafür ist die sachgerechte Anpassung der chemikalienrechtlichen Regelungen.

Arbeitsschutz

Nanomaterialien sind chemische Arbeitsstoffe und fallen daher unter die Vorgaben der Europäischen Agenzien Richtlinie[28] und deren Umsetzung in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV). Die in der GefStoffV enthaltene Regelung für den Arbeitsschutz beim Umgang mit partikelförmigen Gefahrstoffen[29] gilt auch für Tätigkeiten mit Nanomaterialien, wenn diese zu einer Exposition mit lungengängigen Stäuben führen können. Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) empfiehlt hierzu, die Gefährdungsbeurteilung auf Grundlage eines Gruppierungsansatzes durchzuführen[30] und beschreibt Beurteilungsmaßstäbe für Luftkonzentrationen am Arbeitsplatz, speziell auch für biobeständige Stäube aus hergestellten Nanomaterialien.[31]

7.2 Metrologie, Standardisierung und Normung

Die Metrologie als Wissenschaft vom Messen und ihrer Anwendung wird seit Gründung der Meterkonvention 1875 als internationale Aufgabe verstanden. Ziel ist dabei, die weltweite Vergleichbarkeit der Kalibrierungen der nationalen Metrologie-Institute innerhalb ihrer jeweiligen Messunsicherheiten sicherzustellen. Die PTB stellt sich in Deutschland dieser Verantwortung in Kooperation mit den designierten Instituten BAM, UBA und BVL. In einem System von regelmäßig durchzuführenden internationalen Vergleichsmessungen wird die Vergleichbarkeit und messtechnische Leistungsfähigkeit der Metrologieinstitute laufend überprüft und dokumentiert. Dies gilt auch für den Bereich nanoskaliger Messobjekte.

Die metrologisch abgesicherte Rückführbarkeit von Messergebnissen auf das internationale Einheitensystem trägt unmittelbar zur Steigerung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft der beteiligten Unternehmen bei. Auch Regulierung und Rechtssicherheit in der Anwendung von Nanotechnologie erfordern international abgestimmte Definitionen, eine einheitliche Terminologie und international vergleichbare Charakterisierungsverfahren. Um die Rahmenbedingungen für den erfolgreichen Transfer von FuE-Ergebnissen in innovative Produkte und Dienstleistungen weiter zu verbessern, bietet es sich an, Normungsaspekte bereits in FuE-Arbeiten zur Nanotechnologie einzubeziehen. Durch Berücksichtigung der Standardisierungsrelevanz kann das Bewusstsein für Normung und Standardisierung als Transferinstrument für Innovationen geschärft und die Wirkung staatlicher und privater FuE-Mittel erhöht werden.

Deutsche Beteiligung an internationalen Normungsaktivitäten

In Deutschland koordinieren vor allem das Deutsche Institut für Normung (DIN), die Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik (DKE) und der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) die Entwicklung von Normen und Richtlinien. Sie nehmen das Mandat der Europäischen Kommission für europaweit harmonisierte Normen auf und erarbeiten mit den europäischen Normungsorganisationen Comité Européen de Normalisation (CEN), Comité Européen de Normalisation Électrotechnique (CENELEC) und European Telecommunications Standards Institute (ETSI) die entsprechenden Normen[32]. Auf internationaler Ebene arbeiten deutsche Institute und Industrie in der ISO und der International Electrotechnical Commission (IEC) an der Normung und Standardisierung der Nanotechnologie. Auf europäischer Ebene (CEN, CENELEC) und nationaler Ebene (DIN, DKE)[33] existieren entsprechende Spiegelgremien, die in enger Kooperation mit den ISO/IEC-Ausschüssen stehen und die entsprechenden europäischen oder nationalen Interessen in die internationalen Gremien einbringen.

Die internationalen Normungsaktivitäten in den Nanotechnologien erfolgen vor allem in den drei ISO- beziehungsweise IEC-Gremien ISO/TC 229 Nanotechnologies, ISO/TC 24 Particle characterization including sieving und IEC/TC 113 Nanotechnology Standardisation for Electrical und Electronic Products and Systems sowie dem Europäischen Gremium CEN/TC 352 Nanotechnologies. Im ISO/TC 229 werden zur Zeit mehr als 70 Normungsprojekte parallel bearbeitet. Das europäische CEN/TC 352 bearbeitet acht eigene Normungsprojekte und übernimmt viele der ISO/TC 229 Projekte in sein Arbeitsprogramm.

Für das IEC/TC 113, in dem zur Zeit 40 Normungsprojekte bearbeitet werden, hat Deutschland die Leitung des Sekretariats inne. Diese Position gilt es zu nutzen, um so die Normung nanotechnologischer Lösungen international mitzugestalten. Dies bietet auch eine Chance für die internationale Verbreitung von deutschen Arbeitsschutzlösungen, die unter anderem in den Technischen Regeln für Gefahrstoffe niedergelegt sind. Die Kommission „Arbeitsschutz und Normung“ untersucht daher in einem Gutachten die Bezüge aktueller Normungsaktivitäten zu Aspekten des Arbeitsschutzes.

Die Normung für Nanomaterialien ist noch in einer dynamischen Phase. Im ISO-Gremium ISO/TC 229 wurden bereits 46 Standards und Regeln erarbeitet, darunter die Definition von Nanomaterial. Diese Definition ist aber für regulatorische und toxikologische Aspekte zum einen zu ungenau und zum anderen für den biologischen Bereich oftmals nicht ausreichend. Daher gibt es auf EU-Ebene Bestrebungen, die Definition für regulatorische Zwecke zu konkretisieren. Doch stößt die Definition an die Grenzen der Messtechnik, die hauptsächlich im ISO/TC 24 standardisiert wird. Ohne erhöhte Anstrengungen bei der Forschung zur Messtechnik (Verfahrensentwicklung sowie verbesserte und korrekte Anwendung der Verfahren) wird die angestrebte EU-Definition sich nur schwer umsetzen lassen.

Parallel zu den Normungsaktivitäten in ISO/CEN/DIN gibt es normative Aktivitäten aus den Bereichen Umwelt und Toxikologie, welche über die OECD adressiert werden. Die Aktivitäten zu Nanomaterialien sind in dem Gremium „Working Party on Manufactured Nanomaterials“ (WPMN) konzentriert, welches in enger Abstimmung mit ISO, Stakeholdern und der ECHA die Komplexität der Thematik in Guidance-Dokumenten zu standardisieren versucht.

Prüfrichtlinien und Leitfäden

Für die reproduzierbare und vergleichbare Untersuchung von Chemikalien werden eine Reihe standardisierter, international harmonisierter und akzeptierter Modelle, Prüfrichtlinien und Leitfäden herangezogen34. Diese wurden vorrangig für lösliche und organische Chemikalien entwickelt.

Die OECD hat im Jahre 2007 im Rahmen der WPMN das sogenannte Sponsorship Progamme (2009-2014) ins Leben gerufen, in dem ursprünglich 14 repräsentative Nanomaterialien getestet werden sollten35. Eine Aufgabe war es, zu überprüfen, ob die bestehenden Prüfrichtlinien der OECD zur Untersuchung von Chemikalien auch für Nanomaterialien anwendbar sind oder ob Anpassungs- oder Ergänzungsbedarf besteht. Ein Ergebnis des Programms ist, dass die bestehenden Prüfrichtlinien im Allgemeinen anwendbar sind. Dennoch besteht Anpassungs- und Ergänzungsbedarf. So wurden unter anderem auf verschiedene Expertentreffen der OECD verschiedene ausgewählte OECD Prüfrichtlinien hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit zur Untersuchung von Nanomaterialien diskutiert und Empfehlungen erarbeitet.

Neben der Anpassung bestehender OECD Prüfrichtlinien zur (Öko-)Toxikologie und Neuentwicklung von Prüfrichtlinien für das Umweltverhalten, ist für eine angemessene Risikobewertung von Nanomaterialien die spezifische Beschreibung der Eigenschaften des zu untersuchenden Nanomaterials wie Partikelgröße und -verteilung, Oberfläche und Oberflächenchemie und -ladung von Bedeutung. Somit kommt der Entwicklung von spezifischen OECD Prüfrichtlinien zur Charakterisierung der physikalisch-chemischen Eigenschaften von Nanomaterialien eine zentrale Bedeutung zu.

8. Kommunikation transparent und dialogorientiert durchführen

Die Bundesregierung erachtet den Dialog mit der Öffentlichkeit als integrativen Bestandteil ihrer Innovationspolitik. Dabei werden Dialogformate zur Verfügung gestellt, mit denen sich Bürgerinnen und Bürger über Potenziale, Perspektiven und Risiken nanotechnologischer Innovationen und Produkte sachlich informieren und auch Anregungen für die weitere Ausrichtung dieses Technologiefeldes geben können.

8.1 Informationsplattformen erweitern

DaNa – Daten und Wissen zu Nanomaterialien

Die internetbasierte Informationsplattform DaNa$^{2.0}$ baut auf den Ergebnissen des seit 2009 vom BMBF geförderten Vorhabens „DaNa – Daten und Wissen zu Nanomaterialien“ auf. DaNa nutzt das interdisziplinäre Wissen von Humantoxikologen, Ökotoxikologen, Biologen, Physikern, Chemikern und Pharmazeuten, um Forschungsergebnisse zu Nanomaterialien und deren Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt für interessierte Laien aufzubereiten[36]. Derzeit bietet die DaNa-Wissensbasis Informationen zu 25 Materialien, die in den gängigsten verbrauchernahen Anwendungen eingesetzt werden. Kurztexte sowie ausführliche Artikel informieren nicht nur über Eigenschaften der grobkörnigen und nanoskaligen Materialien, sondern auch ob und wie Nanomaterialien freigesetzt werden können und welche Auswirkungen sich dadurch für Mensch und Umwelt ergeben. Darüber hinaus werden die wissenschaftlichen Ergebnisse der BMBF-Fördermaßnahmen NanoNature und NanoCare dargestellt. Der hohe Bekanntheitsgrad wird durch die große Anzahl von ungefähr 100.000 Besuchern in 2015 dokumentiert.

„nanoTruck“ – Treffpunkt Nanowelten

Die BMBF-Initiative „nanoTruck“ konzentrierte sich in den vergangenen zehn Jahren als Teil der Hightech-Strategie der Bundesregierung auf die allgemein verständliche, anschauliche Vermittlung direkt nutzbarer Informationen über die Grundlagen, Anwendungsgebiete, Chancen und potenziellen Risiken der Nanotechnologie. In verschiedenen Themenwelten und Veranstaltungsformaten konnten sich die Besucher des „nanoTruck“ - insbesondere handelte es sich bei den Zielgruppen um Schüler, Studenten und die breite Öffentlichkeit - mit dem Status quo und der Zukunft nanotechnologischer Forschung und Praxis auseinandersetzen. Das doppelstöckige Ausstellungsfahrzeug mit interaktiver Exponateschau, einem Laborbereich für Workshops und Praktika, Multimedia-Terminals für die individuelle Recherche und einem Nano-Kino bot dafür den perfekten Rahmen. Der „nanoTruck“ erreichte bis zum Ende seines Betriebs in 2015 pro Jahr circa 100.000 Menschen auf Schulhöfen und in Stadtzentren, bei Techniktagen und Wissenschaftsnächten, auf Bildungs- und Industriemessen sowie bei Branchenveranstaltungen und Fachkongressen. Er war dabei an bis zu 220 Einsatztagen an mehr als 80 Standorten in Deutschland zu Gast. Zukünftig wird das Themenspektrum des „nanoTrucks“ erweitert und unter dem Motto „InnoTruck“ der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

Weitere Informationsplattformen

Über eigene Internetseiten informieren die Bundesoberbehörden BAuA[37], BfR[38] und UBA[39] und die DGUV[40] über ihre Aktivitäten und Ergebnisse im Rahmen der Risikoforschung zu Nanomaterialien, aber auch zu Fragen und Positionen zu Regulierungsaspekten sowie Handlungsempfehlungen.

Auf der Internetseite der Arbeitsgruppe Nanomedizin informiert das BfArM[41] über seine Aktivitäten hinsichtlich Arzneimitteln und Medizinprodukten, die unter Einsatz von Nanomaterialien und Nanotechnologie entwickelt werden. Auch die Europäische Arzneimittelbehörde EMA[42] in London stellt über ihren Internetauftritt Informationen zu Nanomaterialien und Nanotechnologie in Bezug zu Arzneimitteln bereit.

8.2 Dialogprozesse fortsetzen

Der NanoDialog der Bundesregierung

Seit 2006 wird unter der Federführung des BMUB ein europaweit einzigartiger Stakeholderdialog mit dem Motto „Verantwortungsvoller Umgang mit Nanotechnologien" durchgeführt. Beteiligt sind Nicht-Regierungsorganisationen, Industrie, Wissenschaft und Behörden auf Bundes- und Landesebene. Mehr als 300 Expertinnen und Experten tauschen sich zu Chancen und möglichen Risiken kontinuierlich aus. Der Ansatz, die Chancen und Risiken immer gleichzeitig zu betrachten, hat zu einer hohen Akzeptanz des NanoDialoges auf allen Seiten geführt. So ist ein Raum entstanden, in dem auch gegensätzliche Positionen respektvoll und offen erörtert werden. Dadurch wurde Verständnis und Vertrauen der unterschiedlichen Akteure untereinander gefördert und hat zum Gelingen dieser neuen Technologie beigetragen. Deshalb wird der NanoDialog fortgeführt.[43]

Technologiegespräche mit Bürgern

Gespräche, bei denen Bürgerinnen und Bürger mit Expertinnen und Experten in direkten Kontakt treten, eröffnen aktive Kommunikationswege, um die unterschiedlichen Facetten der Nanotechnologie fundiert zu diskutieren, Einblicke zu gewinnen und einen Überblick über das Forschungsfeld zu erlangen. Bürgerinnen und Bürger sollen frühzeitig informiert, gehört und ermuntert werden, Befürchtungen und Hoffnungen zu äußern sowie Fragen zu stellen, um sich eine fundierte Meinung zu bilden.

Im Rahmen dieses Formats führt das BMBF unter dem Motto „ Bürger treffen Experten" zweimal jährlich an wechselnden Orten in Deutschland moderierte Dialogveranstaltungen durch, die einem interessierten Publikum die Möglichkeit geben, mit Expertinnen und Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Verwaltung und Verbraucherschutz über Chancen, Risiken und Perspektiven der Nanotechnologie ins Gespräch zu kommen. Die Bürgergespräche werden vor Ort durch regionale Kooperationspartner unterstützt, die nicht notwendigerweise aus dem wissenschaftlichen Umfeld sondern aus unterschiedlichen gesellschaftlichen Bereichen kommen.

Technologiegespräche mit gesellschaftlichen Akteuren

Zudem führt das BMBF regelmäßig Technologiegespräche mit Interessensvertertern durch. Dabei erhalten gesellschaftliche Interessensvertreter und Nicht-Regierungsorganisationen einen allgemeinverständlichen Überblick über die Ergebnisse der Risikoforschung und über aktuelle Entwicklungen der Nanotechnologie. Ziel ist dabei, einen offenen, transparenten gesellschaftlichen Dialog zu fördern, der auf Basis neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse geführt wird.

9. Internationale Aktivitäten aufeinander abstimmen

Internationale Kooperationen in Forschung, Entwicklung, Standardisierung und Regulierung sind für Deutschland von maßgeblicher Bedeutung. Auch für die Nanotechnologie gilt, dass Wissenschaft in globaler Kooperation durchgeführt wird, Wertschöpfungsketten sich über verschiedene Länder hinweg erstrecken, Qualitäts- und Funktionsvergleiche nur durch internationale Normen und Standards erfolgen können und der effektive Schutz von Mensch und Umwelt nur über nationale Grenzen hinweg reichende Regulierung zu verwirklichen ist.

Mit Blick auf die zukünftige Innovationskraft von Unternehmen und die nachhaltige Sicherung von Arbeitsplätzen in Deutschland ist es erforderlich, das weltweit verfügbare Wissen besser für die Entwicklung des heimischen Standorts einzusetzen. Internationale Kooperationen ermöglichen das außerhalb von Deutschland

verfügbare Know-how zu Gunsten nationaler FuE-Aktivitäten zu erschließen und neue Wertschöpfungsketten in strategischen Zielmärkten aufzubauen. Ziele der Bundesregierung sind der arbeitsteilige Wissensaustausch und die Nutzung komplementärer Fähigkeiten und Ressourcen zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft in Zukunftstechnologien wie der Nanotechnologie. Zudem erhöhen gemeinsame Aktivitäten zur Nanorisikoforschung (im internationalen Kontext vorwiegend als Nanosicherheitsforschung bezeichnet) und zu gesetzlichen Rahmenbedingungen das Verbrauchervertrauen, beschleunigen den Technologietransfer und stärken dadurch die Umsetzung nanotechnologischer Erkenntnisse in Produkte und Anwendungen.

Die Ziele internationaler Maßnahmen in der Nanotechnologie sind:

- Initiierung wissenschaftlich-technologischer Zusammenarbeit

  Frühzeitige Evaluierung der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit von Zielregionen zur Anbahnung neuer und Stärkung bestehender internationaler Forschungskooperationen.

- Nutzung des Innovationspotenzials und bessere Markterschließung

  Umsetzung von industriellen Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit hohem technologisch-wissenschaftlichen Risiko, die technologieübergreifend und anwendungsbezogen sind und einen direkten Zugang zu ausländischen Märkten ermöglichen.

- Stärkung der Interessen der deutschen Nanotechnologie-Fachszene

  Zusammenarbeit mit der EU durch Aktivitäten der Nationalen Kontaktstelle Werkstoffe und der Nationalen Kontaktstelle Nanotechnologie; Durchsetzung deutscher Interessen bei der thematischen Ausrichtung einzelner Fördermaßnahmen durch die Mitarbeit im Programmausschuss.

- Europäisch abgestimmte gesetzliche Rahmenbedingungen

  Aktive Mitarbeit deutscher Vertreter in den fachlichen, regulatorischen und politischen Gremien auf EU-Ebene (beispielsweise REACH, Lebensmittel-, Kosmetikverordnung, Arzneimittel- und Medizinproduktebereich).

- Standardisierung und Normung

  Deutsche Beteiligung an internationalen Normungsaktivitäten bei ISO, CEN und CENELEC.

- Förderung international vergleichbarer Anforderungen für den Arbeitsschutz

  Mitwirkung an der Erarbeitung eines evidenzbasierten Leitfadens für die sichere Verwendung von Nanomaterialien am Arbeitsplatz durch die WHO und internationale Verbreitung des englischsprachigen Leitfadens „Nano to go“, der von der BAuA auf Grundlage der Empfehlungen des Ausschusses für Gefahrstoffe (AGS) entwickelt wurde.

- Aktive Teilnahme an Arbeitsgruppen der OECD

  Mitarbeit in der Working Party on Manufactured Nanomaterials (WPMN), OECD Working Party on Resource Productivity and Waste (WPRPW), OECD Working Group of the National Coordinators of the Test Guidelines Programme (WNT) und der Working Party on Biotechnology, Nanotechnology and Converging Technologies (WPBNCT); Beeinflussung der Schwerpunktsetzung und Mitgestaltung harmonisierter Richtlinien für die Prüfung und Bewertung.

- Messe und Konferenzbeteiligung

  Präsentation nanotechnischer Entwicklungen aus Deutschland im Rahmen von internationalen Messen und Fachveranstaltungen zur Werkstoffforschung. Diese Beteiligung dient der Unterstützung von KMU auf ausländischen Märkten und zur Anbahnung von Kooperationen.

9.1 Deutsche Beteiligungen an Förderprogrammen der EU fördern

Das Europäische Rahmenprogramm für Forschung und Innovation (Horizont 2020):

In „Horizont 2020“ bildet Nanotechnologie gemeinsam mit den fortgeschrittenen Werkstoffen, Biotechnologie und Produktionstechniken die sogenannten Schlüsseltechnologien (key-enabling technologies, KETs) innerhalb des Einzelziels „Grundlegende und Industrielle Technologien“. In diesem Kontext hat die Technologieplattform „Nanofutures“ in 2015 eine umfangreiche „Implementation Roadmap“ für nanobasierte Technologien, Dienstleistungen und Produkte für den Zeitraum 2015 bis 2022 vorgelegt.[44] Aktivitäten mit Bezug zur Nanotechnologie finden sich auch in anderen Programmbereichen von Horizont 2020, wie etwa unter dem Europäischen Forschungsrat , den Marie-Sklodowska-Curie Mobilitätsmaßnahmen, dem KMU-Instrument, oder dem Programmbereich künftige und neuentstehende Technologien (FET).

Die Programmplanung in Horizont 2020 erfolgt auf Basis von Vorschlägen der Europäischen Kommission in enger Abstimmung mit den EU-Mitgliedsstaaten. Das BMBF vertritt die Bundesregierung in der Programmausschusskonfiguration von Horizont 2020 „Nanotechnologien, fortgeschrittene Materialien, Biotechnologie und Produktionstechniken (NMBP)“ mit dem Ziel, die aus Sicht der deutschen Fachwelt und Industrie prioritären Themen in die Arbeitsprogramme und Fördermaßnahmen von Horizont 2020 einzubringen. Themen, wie die Nanosicherheitsforschung, erfahren besondere Aufmerksamkeit, da sie sowohl auf nationaler als auch auf EU-Ebene eine hohe Priorität genießen.

Neben den deutschen Fördermaßnahmen stellt die europäische Forschungsförderung eine zweite, wichtige Säule der FuE-Förderung für deutsche Antragsteller dar. Im vorangegangenen 7. EU-Forschungsrahmenprogramm (7. FRP; Laufzeit 2007-2013) wurden aus allen beteiligten Bereichen der Kommission etwa 3,5 Mrd. Euro in die Nanotechnologieforschung investiert. Etwa 21 Prozent dieser Fördermittel sind nach Deutschland geflossen. Deutsche Antragsteller nahmen damit eine Spitzenposition im Wettbewerb um europäische Fördergelder ein. Sie konnten zum Thema Nanotechnologie etwa 740 Millionen Euro einwerben.

NANoREG als gelungenes Beispiel für Forschung zu regulativen Zwecken

Dem BMUB ist es als „political adviser“ gelungen, für den EU Call „NANoREG“ eine deutliche Beteiligung von deutscher Industrie und Bundesoberbehörden einzuwerben. Dieser Aufruf im Rahmen vom 7. FRP war der erste, der nicht die Innovationsforschung sondern vielmehr die Regulationsforschung im Fokus sieht.[45] Ein besonderer Teil dieses Projekts ist eine weltweit einzigartige Langzeitstudie zu den gesundheitlichen Auswirkungen des Einatmens biobeständiger Partikel im Niedrigdosisbereich. Die Ergebnisse der Langzeitstudie werden für Ende 2017 erwartet und haben Konsequenzen für die Ableitung von Grenz- und Richtwerten im Arbeits- und Umweltschutz.

ERA-Net und PPP

Neben EU-Mitgliedsstaaten bestehen auch für Partner aus Drittstaaten vielfältige Möglichkeiten, sich an Aktivitäten von Horizont 2020 zu beteiligen. Neben gezielten Ausschreibungen zu Forschungs- und Innovationsprojekten gibt es gemeinsame Initiativen zur Internationalen Kooperation wie die Europäischen Netzwerke (ERA-Netze) oder die Initiative für wissenschaftliche und technologische Zusammenarbeit in Europa (COST). Auf dem Gebiet der Nanotechnologie beteiligt sich das BMBF an einer Reihe von ERA-Netzen.

Anwendungen in der Nanomedizin zielen generell auf die kontrollierte Wechselwirkung medizinischer Produkte mit Zellen im Nanometerbereich ab. Das BMBF beteiligt sich in Netzwerken des Europäischen Forschungsraums (ERA) seit 2009 an der europäischen Fördermaßnahme „ERA-Net EuroNanoMed“. Im Rahmen des ERA-Nets werden Verbundprojekte aus Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Kliniken gefördert, die sich zum Ziel gesetzt haben, innovative nanotechnologische Lösungen in den Bereichen Wirkstofftransport, Diagnostik oder Regenerative Medizin zu erforschen. Neben den europäischen Netzwerkpartnern, haben sich auch Förderinstitutionen aus Norwegen, Israel und der Schweiz an den Ausschreibungen beteiligt.

Das M-ERA.NET (ERA-NET on Material Science and Engineering) ist eine gemeinsame Initiative von 41 Partnern aus 28 europäischen und Nicht-EU-Ländern (darunter Israel, Norwegen, Brasilien, Taiwan, Südafrika, Russland und die Türkei) und Regionen. Inhaltlich wird eine breite Themenvielfalt von grundlagenorientierten Materialwissenschaften über Forschung und Entwicklung innovativer Werkstoffkonzepte bis zu den

Herstellungsprozessen abgedeckt. In den geförderten Vorhaben sind nanotechnologische FuE-Ansätze Teil der adressierten Lösungsansätze.

Das ERA-NET SIINN („Safe Implementation of Innovative Nanoscience and Nanotechnology“) ist eine gemeinsame Initiative von 19 Partnern aus 14 Ländern und 3 Regionen. Als Drittstaaten haben sich Israel, die Schweiz und die Vereinigten Staaten an Ausschreibungen von ERA-Net SIINN beteiligt. ERA-Net SIINN zielt auf die sichere Umsetzung nanotechnologischer Ergebnisse in industriellen Anwendungen. Hierzu werden nationale und regionale Ressourcen gebündelt, um Erkenntnisse zur Nanosicherheitsforschung in grenzüberschreitender Zusammenarbeit zu erarbeiten. SIINN zielt auf die Bündelung von Forschungsaktivitäten zu möglichen human- und ökotoxikologischen Risiken von Nanomaterialien.

Darüber hinaus ist Nanotechnologie ein Schwerpunktthema von länderspezifischen ERA-NETs mit deutscher Beteiligung wie beispielsweise ERA.Net Plus mit Russland.

Nanotechnologie-Bezug haben auch die vier von der EU eingerichteten Öffentlich-Privaten-Partnerschaften („Public-Private-Partnerships“, PPP) Factories of the Future (FoF), Energy-efficient Buildings (EeB), European Green Cars (GC)und Sustainable and Low-Carbon Technologies in Energy-Intensive Process Industries (SPIRE).

9.2 Internationale Zusammenarbeit stärken

Im Rahmen der Umsetzung des Aktionsplans Nanotechnologie 2020 wird geprüft, welche Maßnahmen gezielt in die internationale Zusammenarbeit eingebracht werden können.

Die Vereinigten Staaten und Asien sind im Bereich Nanotechnologie führende Regionen weltweit. Einige Länder haben zielgerichtete Programme und Initiativen aufgesetzt und hohe Fördermittel bereitgestellt, um deren Technologieführerschaft in der Nanotechnologie weiter zu stärken. Insbesondere Israel, China, Indien, Japan und Korea sind als Zielländer zu nennen, mit denen Deutschland bereits seit vielen Jahren eine intensive Zusammenarbeit auf verschiedenen wissenschaftlich-technologischen Gebieten betreibt.

Deutsche Beteiligung an der OECD WPMN

Das BMUB leitet die deutsche Delegation der WPMN, die seit 2006 an dem Ziel arbeitet, international abgestimmte und gegenseitig anerkannte Methoden und Strategien zu überprüfen und wenn notwendig anzupassen, um die potenziellen Gesundheits- und Umweltrisiken von Nanomaterialien zu erfassen und zu beherrschen. Die Ergebnisse werden öffentlich zugänglich gemacht und sollen den beteiligten Ländern helfen, Maßnahmen zum sicheren Umgang mit Nanomaterialien zu ergreifen.[46]

Ein derzeit zentrales Ziel der WPMN ist die Überprüfung bestehender Prüfmethoden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für Nanomaterialien und die Entwicklung von Vorschlägen zur Anpassung dieser Prüfmethoden. Hierfür wurde ein Testprogramm durchgeführt, dessen Ergebnisse mittlerweile veröffentlicht wurden[47] und die nun einer Überprüfung hinsichtlich der Eignung der angewandten Methoden unterzogen werden. Erste Projekte zur Anpassung und Neuentwicklung von OECD Prüfrichtlinien und Leitfäden sind bereits gestartet und laufen in enger Zusammenarbeit mit dem OECD Prüfrichtlinienprogramm (WNT). Die Überführung von anerkannten OECD Prüfmethoden erfolgt insbesondere in die Prüfmethodenverordnung bestehender Regulierungen zur Chemikaliensicherheit wie zum Beispiel REACH und bietet so die Basis für vergleichbare und reproduzierbare Studienergebnisse. Weitere Ziele der WPMN sind der internationale Austausch und die Kooperation zur Risikoforschung und zu Regulierungsaspekten zu Nanomaterialien. Aktuelle Themen der OECD WPMN sind unter anderem die Erarbeitung von Grundlagen für die Expositionsbewertung sowie für die Gruppierungs- und Analogiekonzepte von Nanomaterialien.

Darüber hinaus beteiligt sich das BMUB an der OECD WPRPW, die sich in einigen Projekten mit nanomaterialhaltigen Abfällen beschäftigt.

ISO TC229 und CEN TC352

Im Bereich der Standardisierung befasst sich auf internationaler Ebene die ISO mit der Erarbeitung von Normen und Standards und auf europäischer Ebene das CEN. Die Bundesregierung engagiert sich in diesen internationalen Gremien durch Unterstützung des aktiven Engagements deutscher Expertinnen und Experten in den jeweiligen Normungsausschüssen, um so nationale Interessen in die Normung nanotechnologischer Lösungswege einzubringen. Themen in diesen Normungsausschüssen betreffen zunehmend die Messtechnik für

verschiedenste Anwendungen, seien es in der Partikelgrößenbestimmung, der Erfassung toxikologischer Auswirkungen oder der chemischen Materialspezifizierung, Instrumente zur Risikobewertung sowie die Entwicklung und Anpassung von Prüfmethoden.

EURAMET

EURAMET koordiniert, implementiert und unterstützt das europäisches Metrologie-Forschungsprogramm EMPIR, das eine Laufzeit von 2014-2023 hat und ein Fördervolumen von 600 Mio. € aufweist. In den bisher ausgeschriebenen Forschungsthemen wurden auch verschiedene Fragestellungen der Nanometrologie adressiert.

10. Fazit/Ausblick

Im Rahmen der bisherigen ressortübergreifenden Zusammenarbeit können Erfolge verzeichnet werden; es werden aber auch Defizite und Bedarfe erkennbar, die für die zukünftigen Aktivitäten der Bundesressorts wichtige Impulse liefern. Neben der Kontinuität wahrenden Fortführung bewährter Schwerpunkte und Maßnahmen, sind auch eine Reihe neuer Formate geplant. Zudem wird sichergestellt, dass der Aktionsplan Nanotechnologie 2020 ausreichend Flexibilität bietet, um auch auf neue Entwicklungen schnell reagieren zu können.

Fazit

- Die ressortübergreifende Zusammenarbeit im Rahmen des Aktionsplans Nanotechnologie über einen Zeitraum von 10 Jahren hat sich aus Sicht der daran beteiligten Bundesressorts (BMBF, BMAS, BMEL, BMG, BMUB, BMVg und BMWi) als effizientes Handlungskonzept bewährt. Durch die Zusammenarbeit ist es gelungen, Synergien zu schaffen, verschiedene Ressortaktivitäten zu bündeln und Doppelförderung zu vermeiden. Aus diesem Grund beschließt die Bundesregierung eine Fortführung des Aktionsplans Nanotechnologie für die nächsten 5 Jahre durch den hier vorgelegten Aktionsplan Nanotechnologie 2020.
- Der Aktionsplan Nanotechnologie 2020 orientiert sich an den Prioritäten der neuen Hightech-Strategie der Bundesregierung (HTS), die sich zum Ziel setzt, durch Forschung die Lösung gesellschaftlicher Herausforderungen voranzutreiben. Er leistet einen Beitrag zur Erfüllung der strategischen Ziele der Bundesregierung mit Blick auf die Nutzung von Schlüsseltechnologien zur Steigerung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und zum Wohle der Gesellschaft.
- Die positive Bilanz der staatlichen Förderung wird durch die erfolgreiche Entwicklung der Nanotechnologie in Deutschland bestätigt. Neben der international gut positionierten Nanotechnologie-Forschung ist es zudem gelungen, die Vernetzung der Nanotechnologieakteure voranzutreiben (beispielsweise durch Einrichtung von Kompetenznetzwerken) und die wirtschaftliche Anwendung dieser Schlüsseltechnologie in vielen Branchen zu stärken. Dieser positive Trend in der Industrie wurde vom Bund durch gezielte Strukturfördermaßnahmen für KMU beziehungsweise zur Gründerfinanzierung und durch eine anwendungsorientierte Verbundforschung positiv flankiert. Mit Blick auf die zeitnahe Umsetzung wissenschaftlicher Erkenntnisse aus der Forschung in die Anwendung bzw. in marktfähige Produkte besteht auf nationaler und EU-Ebene aber noch weiteres Optimierungspotenzial.
- Um die verantwortungsvolle Nutzung der Nanotechnologie sicherzustellen und mögliche Risiken beim Umgang mit Nanomaterialien zu untersuchen, wurde im Aktionsplan 2010 die Risikoforschung für Nanomaterialien als eigenständiger Förderschwerpunkt des BMBF eingerichtet und kontinuierlich ausgebaut. Gleichermaßen haben die Ressortforschungseinrichtungen des Bundes ihre Aktivitäten zur Risikoforschung für Nanomaterialien in einer gemeinsamen Forschungsstrategie gebündelt und intensiviert. Sie erarbeiten insbesondere Entscheidungshilfen für Politik und Verwaltung. Öffentliche Projektförderung und Ressortforschung ergänzen sich auf diesem Gebiet. Ziel der Risikoforschung für Nanomaterialien ist, Erkenntnisse über mögliche Auswirkungen von Nanomaterialien auf Mensch und Umwelt zu gewinnen. Aus den Ergebnissen einer Vielzahl von Forschungsprojekten zeigte sich, dass Nanomaterialien nicht *per se* aufgrund ihrer Nanoskaligkeit mit einem Risiko für Mensch und Umwelt verbunden sind. Dieses wird vielmehr durch Struktur, chemische Zusammensetzung und weitere Faktoren beeinflusst und ist daher vom jeweiligen Material und dessen Anwendung abhängig. Auch andere innovative Werkstoffe können analoge Risikoprofile aufweisen.

- Die im Rahmen der Risikoforschung generierten Ergebnisse werden in die Regulierung in allen relevanten Bereichen, wie etwa Arbeits-, Verbraucher- und Umweltrecht, eingebracht. So wurden beispielsweise zum Schutz der Beschäftigten für Tätigkeiten mit Nanomaterialien differenzierte Bewertungsmaßstäbe und Maßnahmenpakete abgeleitet, die im Technischen Regelwerk für Gefahrstoffe verankert sind. Im Vordergrund stand hierbei der Schutz vor Belastungen mit lungengängigen, biobeständigen Stäuben und Fasern am Arbeitsplatz.
- Deutschland ist inzwischen auf dem Gebiet der Risikoforschung für Nanomaterialien auch durch die konsequente staatliche Förderung international führend. Die Bundesregierung hat sich außerdem erfolgreich dafür eingesetzt, dass neben der nationalen Verankerung des Themas die Risikoforschung zu Nanomaterialien (im engl. Nanosafety) auch in der Europäischen Forschungsförderung seit dem 7. EU-Forschungsrahmenprogramm intensive Berücksichtigung findet und mit Horizont 2020 auch auf andere innovativen Werkstoffe (engl. advanced materials) ausgeweitet wurde.
- Die Bundesregierung stärkt Deutschlands Rolle in den für die Nanotechnologie relevanten nationalen und internationalen Regulierungs- und Normungsgremien mit dem Ziel, den Schutz von Mensch und Umwelt voranzutreiben und einen Beitrag zur Schaffung innovationsfreundlicher Rahmenbedingungen zu leisten. Zur analytischen Überprüfbarkeit bestehender rechtlicher Regelungen bezüglich Nanomaterialien sind die bereits begonnenen Arbeiten fortzusetzen, da derzeit standardisierte instrumentell-analytische Methoden zur Expositionsabschätzung und für die Routinekontrolle noch weitgehend fehlen.
- Unter dem Aktionsplan Nanotechnologie wurden Fortschritte bei der Bewertung von Gesundheits- und Umweltrisiken und der Ableitung von differenzierten Handlungsoptionen für die sichere Entwicklung und Handhabung wirtschaftlich relevanter Nanomaterialien erzielt. Für die Entsorgung von Abfällen, aber auch für Nanomaterialien, die sich erst in der Entwicklung oder der Anfangsphase der Vermarktung befinden, besteht aber noch Handlungsbedarf.
- International abgestimmte Methoden und Strategien sind notwendig, um zu vergleichbaren Ergebnissen für die Risikobewertung und das Risikomanagement von Nanomaterialien zu kommen. Diese gilt es zu entwickeln. Deutschland engagiert sich weiter bei der Erarbeitung und Anpassung von Testrichtlinien der OECD, um die Voraussetzung für eine Vergleichbarkeit von internationalen Forschungsergebnissen zu schaffen.
- Der transparente Dialog mit der Öffentlichkeit über Chancen und Risiken der Nanotechnologie, hat das Wissen über die Nanotechnologie in der breiten Bevölkerung verbessert und konnte zur Aufgeschlossenheit der Bürgerinnen und Bürger gegenüber der Nanotechnologie beitragen. In diesem Kontext haben verschiedene Initiativen wie der NanoDialog der Bundesregierung, der „nanoTruck“ und das Internet-basierte Informationsportal DaNa Beiträge geleistet. Nur eine anwendungssichere und umweltverträgliche Nanotechnologie findet Akzeptanz in der Bevölkerung.
- Die Nachwuchsförderung des BMBF hat zur Etablierung exzellenter interdisziplinärer Forschungsgruppen auf dem Gebiet der Nanotechnologie an deutschen Universitäten beigetragen. Zudem unterstützten weitere Aus- und Weiterbildungsangebote und die Einrichtung interdisziplinärer Studiengänge an deutschen Universitäten die Verfügbarkeit gut ausgebildeter Fachkräfte für die Industrie. Hier haben auch Industrie, Verbände und Länder mit komplementären Förderaktivitäten zum Erfolg beigetragen.
- Die internationale Vernetzung der Nanotechnologie-Forschung wurde in den letzten Jahren erfolgreich ausgebaut. Der Bund fördert die Beteiligung deutscher Projektpartner aus Industrie und Forschung durch internationale Bekanntmachungen (zum Beispiel durch bilaterale Ausschreibungen) oder durch das Beratungsangebot der Nationalen Kontaktstellen zu den EU-Programmen. Internationale Industriekooperationen unterstützen die Erschließung neuer Märkte und Knowhow-Quellen außerhalb Deutschlands.

Ausblick

- Die Bundesregierung führt ihre ressortübergreifende Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Nanotechnologie für den Zeitraum 2016 bis 2020 unter dem hier vorgelegten Aktionsplan Nanotechnologie 2020 fort.
- Das BMBF integriert Nanotechnologie-Aktivitäten – inklusive der Risikoforschung zu Nanomaterialien – in das Materialforschungsprogramm „Vom Material zur Innovation“. Zudem finden sich auch in anderen Fachprogrammen Bezüge zur Nanotechnologie. Bekanntmachungen im Rahmen des Materialforschungsprogramms adressieren Anwendungen für die in der neuen Hightech-Strategie der Bundesregierung defi-

nierten prioritären Zukunftsaufgaben digitale Wirtschaft und Gesellschaft, nachhaltiges Wirtschaften und Energie, innovative Arbeitswelt, gesundes Leben, intelligente Mobilität und zivile Sicherheit. Ziele der Förderung sind es, mit verschiedenen Instrumenten der Forschungs- und Innovationsförderung die gesamte Innovationskette abzubilden, den Transfer von wissenschaftlichem Knowhow in die Anwendung zu verbessern und innovative Nano-Produkte schnell, erfolgreich und sicher auf dem Markt zu positionieren. Dies setzt voraus, dass Vorhaben, in denen fortgeschrittene Materialien zum Einsatz kommen, auch nicht-technologische Aspekte wie Regulierung und Sicherheit integrativ berücksichtigen.

- Die Bundesregierung räumt der Förderung von KMU auch unter dem Aktionsplan Nanotechnologie 2020 große Priorität ein. Neben der klassischen Verbundforschung, stehen auch zukünftig eine Reihe von technologieoffenen Förderprogrammen zur Verfügung. Hier sind insbesondere die Programme KMU innovativ des BMBF und das ZIM Programm des BMWi von Bedeutung, die spezifische Bedürfnisse von KMU berücksichtigen und keine konkreten Einreichungsfristen für Projektskizzen vorsehen. Existenzgründer werden durch das Programm EXIST des BMWi bei der Etablierung eines eigenen Unternehmens unterstützt. Zudem engagiert sich der Bund bei Aktivitäten zum Standort-Marketing (beispielweise durch Messebeteiligung), zur internationalen Vernetzung und zur Förderung der Innovationskraft von KMUs.

- Das BMBF führt seine Aktivitäten zur Risikoforschung zu Nanomaterialien im Aktionsplan Nanotechnologie 2020 konsequent fort. Hier werden sowohl Auswirkungen von Nanomaterialien auf die menschliche Gesundheit wie auch auf die Umwelt untersucht. Ergebnisse aus laufenden Vorhaben der Nanorisikoforschung werden auch zukünftig der interessierten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Eine begleitende Status Quo Erhebung wird dem BMBF weitere Impulse für die zukünftige Ausrichtung der nationalen und internationalen Risikoforschung zu Nanomaterialien liefern. Es wird auch zukünftig abzuwägen sein, welche Forschungsfragen in einem nationalen Ansatz verfolgt werden, oder eines europäischen beziehungsweise internationalen Kontextes bedürfen. Mit dem Aktionsplan Nanotechnologie 2020 soll die hierfür notwendige Verzahnung von nationaler und internationaler Forschungspolitik weiter forciert werden.

- Die gemeinsame Risikoforschungsstrategie von Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Bundesinstitut für Risikobewertung, Umweltbundesamt, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung und Physikalisch-Technischer Bundesanstalt wird im Rahmen des Aktionsplans unter dem Titel „Nanomaterialien und andere innovative Werkstoffe: anwendungssicher und umweltverträglich“ fortgesetzt. Neben der Weiterentwicklung von Instrumenten zur Früherkennung von Risiken, stehen die Förderung eines sicheren Materialdesigns und die wissenschaftliche Fundierung für etwaig notwendige Anpassungen von Rechtsvorschriften im Vordergrund der Aktivitäten der beteiligten Bundesoberbehörden.

- Die Anwendung von Nanotechnologien in der Medizin (Nanomedizin) eröffnet innovative Möglichkeiten, Krankheiten auf molekularer Ebene zu begegnen, und erschließt neue Ansätze in der Diagnostik, Therapie und im Monitoring, wobei die Arzneimittel- und damit Patientensicherheit nicht vernachlässigt werden darf. Das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) und das Paul-Ehrlich-Institut (PEI) werden ihre vorhandene Expertise auf dem Gebiet der Nanomedizin weiterhin einbringen sowie, wo notwendig, stärken und ausbauen und den Dialog mit allen relevanten Interessengruppen fortsetzen.

- Die transparente Darstellung und Kommunikation von Forschungsergebnissen aus der Risikoforschung zu Nanomaterialien ist eine Voraussetzung für die Aufgeschlossenheit der Bürgerinnen und Bürger gegenüber der Nanotechnologie. Sie fördert zudem die Akzeptanz und das Vertrauen der Verbraucherinnen und Verbraucher in Nano-Produkte. Aus diesem Grund wird das BMBF-Projekt „DaNa - Daten und Wissen zu Nanomaterialien“ auch im Rahmen des hier vorgelegten Aktionsplans fortgeführt. Das Internet-basierte Informationsportal ergänzt weitere Technologiegespräche mit Bürgern und mit gesellschaftlichen Akteuren, um mit der breiten Öffentlichkeit in einen Diskurs über Chancen und mögliche Risiken der Nanotechnologie zu treten. Ab 2017 wird zudem der bisher im Dienste der Nanotechnologie tourende „nanoTruck“ mit erweitertem Themenspektrum unter dem Motto „InnoTruck“ seine Fahrt durch Deutschland wieder aufnehmen.

- Bei der Anpassung von Regelungen zum Schutz von Mensch und Umwelt ist ein kohärentes, am Vorsorgeprinzip und an erkannten Risiken orientiertes Vorgehen essentiell für die Unterstützung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen. Im Mittelpunkt steht herbei insbesondere die notwendige Anpassung der Europäischen Chemikalienverordnung REACH. Die Bundesregierung wird sich weiter in einem

konstruktiven Prozess dafür einsetzen, dass die Europäische Kommission REACH durch die Erkenntnisse aus der Risikoforschung zu Nanomaterialien ergänzt und vorhandene Lücken beim Schutz von Mensch und Umwelt schließt.

- Die Bundesregierung wird Startups und Forschungseinrichtungen motivieren, sich bereits in einem frühen Innovationsstadium mit Ansätzen für ein anwendungssicheres und umweltverträgliches Materialdesign auseinander zu setzen. Für den Informationsaustausch werden bereits bestehende Netzwerke aus der Nanotechnologie und den Materialwissenschaften genutzt und mit Expertise aus Risikoforschung und Regulation verzahnt. Regierungshandeln hält Schritt mit Innovation. Unternehmen leisten durch sicheres Materialdesign einen wichtigen Beitrag zu ihrer Zukunftsfähigkeit und zur nachhaltigen Entwicklung.

- Die Bundesregierung wird sich auch zukünftig in den relevanten europäischen Ausschüssen und Gremien aktiv dafür einsetzen, die Bedürfnisse und Interessen der deutschen Nano-Fachwelt bei der Gestaltung von Arbeitsprogrammen des EU-Rahmenprogramms für Forschung und Innovation (Horizont 2020) und im Nachfolgeprogramm von Horizont 2020 einzubringen. Die Nationalen Kontaktstellen für Werkstoffe und Nanotechnologie beraten und unterstützen deutsche Antragsteller bei der Vorbereitung von Förderanträgen und informieren durch Veranstaltungen und Newsletter über aktuelle Themen der EU-Forschungsförderung.

- Internationale Kooperationen ermöglichen, das außerhalb von Deutschland verfügbare Know-how zu Gunsten nationaler FuE-Aktivitäten zu erschließen und neue Wertschöpfungsketten in strategischen Zielmärkten aufzubauen. Das BMBF wird ein mittelstandsorientiertes Innovationsprogramm zwischen Deutschland und Israel zum Thema „Angewandte Forschung und Technologietransfer auf dem Gebiet der Nanotechnologie“ zur Steigerung der Wertschöpfung in beiden Ländern Mitte 2016 starten. Ziel des Programms ist die Vernetzung von Forschung, Technologie und Wirtschaft (KMU und Start-ups) beider Länder zur Schaffung neuer Geschäfts- und Verwertungsmodelle. Gefördert werden Aktivitäten zur Entwicklung neuer Technologien, Lösungen und Verwertungskonsortien, Technologietransfer, Methodenentwicklung und Verwertungsmodelle mit KMU-Fokus und Begleitforschung.

- Um den wachsenden Bedarf an hoch qualifizierten Nachwuchswissenschaftlern für Industrie und Forschung auch auf dem Gebiet der Nanotechnologie gerecht zu werden, sind im Aktionsplan Nanotechnologie 2020 Maßnahmen zur Aus- und Weiterbildung von qualifizierten Fachkräften vorgesehen. Das BMBF-Nachwuchsförderprogramm NanoMatFutur unterstützt besonders talentierte Forscherinnen und Forscher aus dem In- und Ausland beim Aufbau einer eigenen Arbeitsgruppe an einer deutschen Hochschule. Erfahrungen aus der bisherigen Förderung belegen, dass die Nachwuchsgruppen als Kristallisationskeime für neue interdisziplinäre Forschungsbereiche an den Universitäten dienen können und damit zur Exzellenzbildung der Hochschulen beitragen. Auch auf dem Gebiet der Risikoforschung fördert die Bundesregierung in der Ressortforschung die Qualifizierung von Nachwuchswissenschaftler/innen.

11. Anhang

Weiterführende Informationen

BAuA	www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Nanotechnologie.html
BfArM	www.bfarm.de/DE/Arzneimittel/zul/zulassungsverfahren/zVerf/nano.html
BfR	www.bfr.bund.de/de/a-z_index/nanotechnologie-7585.html
Bildungsangebote	www.nano-bildungslandschaften.de
BMBF	www.bmbf.de/de/neue-werkstoffe-und-materialien-536.html
BMUB	www.bmub.bund.de/themen/gesundheit-chemikalien/nanotechnologie www.bmub.bund.de/themen/gesundheit-chemikalien/nanotechnologie/oecd-wpmn/
Bundesregierung	www.hightech-strategie.de
DaNa	www.nanopartikel.info
EMA	www.ema.europa.eu/ema/index.jsp?curl=pages/special_topics/general/general_content_000345.jsp&
Forschungslandkarte	www.nano-map.de
KOM	ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/nanotechnologies www.nanofutures.eu/ www.nanoreg.eu; www.nanoreg2.eu
Länderaktivitäten	www.nanoinitiative-bayern.de www.nanoportal-bw.de www.hessen-nanotech.de www.nmwp.nrw.de www.nina-sh.de www.nanomikro.com www.nanobionet.de
Nanoportal der DGUV	nano.dguv.de
nanoTruck	www.nanotruck.de
NKS	www.nks-nano.de
OECD WPMN	http://www.oecd.org/science/nanosafety/
UBA	www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/innovative-produktionsverfahren/nanotechnologie
Unterrichtseinheit	www.lehrer-online.de/dasa-nano-ue.php

Abkürzungsverzeichnis

AGF	Ausschuss für Gefahrstoffe
AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BfArM	Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVg	Bundesministerium der Verteidigung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
CEN	European Committee for Standardization
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CLP	Classification, Labelling and Packaging of Substances and Mixtures
COST	European Cooperation in Science and Technology
DaNa	Daten und Wissen zu Nanomaterialien
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DGUV	Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung
DIN	Deutsches Institut für Normung
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
ECHA	European Chemicals Agency
EMA	European Medicines Agency
EMPIR	European Metrology Programme for Innovation and Research
ERA	European Research Area
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EURAMET	European Association of National Metrology Institutes
FET	Future and Emerging Technologies
FhG	Fraunhofer Gesellschaft
FRP	Forschungsrahmenprogramm
FuE	Forschung und Entwicklung
GBS	Granuläre biobeständige Stäube
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GHS	Globally Harmonised System

HGF	Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren
HTGF	High-Tech Gründerfonds
HTS	Hightech-Strategie
IEC	International Electrotechnical Commission
IGF	Industrielle Gemeinschaftsforschung
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KOM	EU-Kommission
MPG	Max-Planck-Gesellschaft
MRI	Max Rubner-Institut
NKS	Nationale Kontaktstelle
NMBP	Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology and Advanced Manufacturing and Processing
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PEI	Paul-Ehrlich-Institut
PPP	Public-Private-Partnership
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt
REACH	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
TC	Technical Committee
UBA	Umweltbundesamt
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WGL	Leibniz-Gemeinschaft
WHO	World Health Organization
WNT	Working Party of the National Coordinators of the Test Guidelines Programme
WPBNCT	Working Party on Biotechnology, Nanotechnology and Converging Technologies
WPMN	Working Party on Manufactured Nanomaterials
WPRPW	Working Party on Ressource Productivity and Waste

Endnotenverzeichnis

[1] „Während technische Erfindungen zum Zeitpunkt ihres Markteintritts zu technologischen Innovationen werden (Innovation *vor* Diffusion), sind gesellschaftliche Veränderungen erst dann soziale Innovationen, wenn sie eine weite Verbreitung finden (Innovation *durch* Diffusion)“; GILLWALD, K. (2000): Konzepte sozialer Innovationen. Berlin.

[2] Siehe hierzu auch: „Winzige Riesen in unserem Alltag. Verantwortungsvoller Umgang mit Nanomaterialien“, BMBF, 2016

[3] www.nanopartikel.info/www.nanoobject.info

[4] BMBF nanoDE Report 2013, Status Quo der Nanotechnologie in Deutschland

[5] www.nano-map.de

[6] nano.dguv.de/home/

[7] nano.dguv.de/nanoramen

[8] www.euramet.org/index.php?id=research-empir

[9] www.euramet.org

[10] www.dguv.de

[11] www.nano-map.de

[12] www.nanobildungslandschaften.de

[13] Abschlussbericht Nanoview, BfR Wissenschaft, 2013; www.bfr.bund.de/cm/350/nanoview-einflussfaktoren-auf-die-wahrnehmung-der-nanotechnologien-und-zielgruppenspezifische-risikokommunikationsstrategien.pdf

[14] Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (EC 1907/2006); CLP: Regulation on **c**lassification, **l**abelling and **p**ackaging (EC 1272/2008)

[15] Second Regulatory Review on Nanomaterials (COM (2012) 572)

[16] insbesondere der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 (sog. Basisverordnung im Lebensmittelrecht) und das Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch

[17] Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über Lebensmittelzusatzstoffe

[18] Verordnung (EG) Nr. 258/97 des Europäischen Parlaments und des Rates über neuartige Lebensmittel und neuartige Lebensmittelzutaten. Sie wird am 1. Januar 2018 durch die Verordnung (EU) 2015/2283 abgelöst

[19] Verordnung (EU) Nr. 1169/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates betreffend die Information der Verbraucher über Lebensmittel

[20] Verordnung (EG) Nr. 1935/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen

[21] Verordnung (EU) Nr. 10/2011 der Kommission über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen

[22] EU-Verordnung Nr. 528/2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten

[23] Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln

[24] Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates über kosmetische Mittel

[25] Richtlinie 2001/83/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Schaffung eines Gemeinschaftskodexes für Humanarzneimittel

[26] Richtlinie 2001/82/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates zur Schaffung eines Gemeinschaftskodexes für Tierarzneimittel

[27] Ratsdokument 9364/3/16 Rev3 vom 15. Juni 2016 zu Medizinprodukten

[28] EG-Richtlinie 98/24/EG zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemischen Arbeitsstoffe bei der Arbeit („Agenzien-Richtlinie“)

[29] Anhang I Nr. 2 GefStoffV

[30] Bekanntmachung BekGS 527 zu hergestellten Nanomaterialien

[31] www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/AGS/pdf/A-Staub.pdf

[32] Arbeiten erfolgen auf Basis des EU-Mandats M/461

[33] DIN: Deutsches Institut für Normung e. V., DKE: Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

[34] OECD Guidelines for the Testing of Chemicals: www.oecd.org/chemicalsafety/testing/oecdguidelinesforthetestingofchemicals.htm; ECHA

[35] Siehe auch: www.oecd.org/science/nanosafety/

[36] www.nanopartikel.info/www.nanoobject.info

[37] www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/Nanotechnologie/Nanotechnologie.html

[38] www.bfr.bund.de/de/a-z_index/nanotechnologie-7585.html

[39] www.umweltbundesamt.de/themen/chemikalien/nanotechnik

[40] nano.dguv.de

[41] www.bfarm.de/DE/Arzneimittel/zul/zulassungsverfahren/zVerf/nano.html

[42] www.ema.europa.eu/ema/index.jsp?curl=pages/special_topics/general/general_content_000345.jsp&

[43] Die Diskussionsergebnisse sind unter www.bmub.bund.de/themen/gesundheit-chemikalien/nanotechnologie/nanodialog/ zu finden.

[44] www.nanofutures.eu/sites/default/files/VALUE4NANO%20Implementation%20roadmap.pdf

[45] www.nanoreg.eu

[46] Die Ergebnisse der WPMN sind unter www.**oecd**.org/science/nanosafety/ zu finden

[47] www.oecd.org/chemicalsafety/nanosafety/testing-programme-manufactured-nanomaterials.htm

Satz: Satzweiss.com Print, Web, Software GmbH, Mainzer Straße 116, 66121 Saarbrücken, www.satzweiss.com
Druck: Printsystem GmbH, Schafwäsche 1-3, 71296 Heimsheim, www.printsystem.de
Vertrieb: Bundesanzeiger Verlag GmbH, Postfach 10 05 34, 50445 Köln, Telefon (02 21) 97 66 83 40, Fax (02 21) 97 66 83 44, www.betrifft-gesetze.de
ISSN 0722-8333